

Grado Universitario en Ingeniería en Tecnologías Industriales

2017-2018

Trabajo fin de grado

“DISEÑO DE SISTEMA AISLADO DE
BOMBEO FOTOVOLTAICO EN ABALA,
ETIOPÍA”

Jimena Oteo de Miguel

Tutor: Antonio Soria Verdugo

Leganés, 2018



Esta obra se encuentra sujeta a la licencia Creative Commons **Reconocimiento
– No Comercial – Sin Obra Derivada**

RESUMEN

El objetivo de este proyecto es dimensionar un sistema de bombeo solar fotovoltaico aislado que consiga abastecer a una parte de la población de la localidad de Abala, en Etiopía. A lo largo de este proyecto se expondrán las razones de la elección de esta localidad en concreto, así como los motivos que han llevado a la realización de un proyecto de estas características. Se explicarán los elementos más importantes de un sistema de bombeo de este tipo y se procederá a su selección según las necesidades y las condiciones de la localidad en concreto. La selección de los elementos irá acompañada de los cálculos pertinentes, y, cuando no sean requeridos, se expondrá la teoría que ha llevado a la elección concreta del elemento. Finalmente, se procederá a realizar un análisis de la inversión inicial que será necesaria para la instalación del sistema.

PALABRAS CLAVE

Energía solar. Sistema de bombeo. Sistema fotovoltaico aislado. Energía renovable. Cooperación.

ABSTRACT

The objective of this project is to size an isolated photovoltaic pumping system that manages to supply a section of the population of Abala, in Ethiopia. Along this project, the reasons for the election of this town in particular are going to be set out, as well as the motives that led to the implementation of a project of these characteristics. The most important elements of a pumping system of this type will be explained and, its selection will be carried out according to the needs and conditions of the specific locality. The selection of the different components will be accompanied by the pertinent calculations, and, when they are not required, the theory that has led us to the concrete choice of the element will be explained. To conclude, an analysis of the initial investment that would be necessary for the installation of the system will be carried out.

KEY WORDS

Solar energy. Pumping system. Isolated photovoltaic system. Renewable energy. Cooperative.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría dar las gracias a la Universidad Carlos III de Madrid por la excelente formación proporcionada a lo largo de 4 intensos años, que culminan con la presentación de este Trabajo de Fin de Grado.

Agradezco a mis padres por todo el apoyo mostrado, especialmente en los momentos difíciles; a mis hermanas, por brindarme la alegría y el ánimo que me ha faltado en muchos momentos.

Gracias a todos mis compañeros y amigos por acompañarme en el camino y ayudarme más de lo que puedan imaginar. En especial, gracias a Miguel por su apoyo incondicional, y por confiar más en mí que yo misma

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	iii
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. MOTIVACIÓN	2
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.4. DESARROLLO DEL PROYECTO	5
2. ESTADO DEL ARTE	7
2.1. EVOLUCIÓN DEL USO DE LA ENERGÍA	7
2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS	8
2.2.1. Energías renovables	9
2.2.2. Energías no renovables	9
2.3. LA RADIACIÓN SOLAR	10
2.4. LA ENERGÍA SOLAR	13
2.4.1. Energía solar fotovoltaica	15
2.5. SISTEMAS DE EXTRACCIÓN DE AGUA	21
2.5.1. Tipos de sistemas de bombeo	21
2.5.2. Bombeo solar fotovoltaico	23
2.5.3. Componentes de los sistemas de bombeo solar fotovoltaico.....	23
3. ENTORNO SOCIOECONÓMICO DE ÁFRICA.....	28
3.1. ETIOPÍA.....	29
4. DISEÑO DEL MODELO GENÉRICO	34
4.1. CONSIDERACIONES PREVIAS	34
4.2. NECESIDADES HÍDRICAS	35
4.3. ALTURA HÍDRICA	36
4.4. ENERGÍA HIDRÁULICA NECESARIA	37
4.5. POTENCIA PICO DEL GENERADOR Y CAUDAL PICO DEL SISTEMA ..	38
4.6. SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES.....	43
4.6.1. Bomba	43
4.6.2. Sistema de acondicionamiento.....	45
4.6.3. Generador fotovoltaico	46
4.6.4. Tuberías de PVC para presión	50
4.6.5. Depósito de acumulación.....	57

4.6.6. Conductores	58
4.6.7. Elementos de protección	66
5. PRESUPUESTO.....	74
6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	76
7. CONCLUSIONES.....	77
8. PERSPECTIVA.....	78
9. BIBLIOGRAFÍA	79
ANEXO. HOJAS DE CARACTERÍSTICAS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1. Mapa global de las aguas subterráneas poco profundas. Fuente: [16].....	1
Figura 2.1. Espectro de radiación solar. Fuente: [24].....	11
Figura 2. 2. Tipos de radiación solar. Fuente: [24]	11
Figura 2. 3. Ángulo de declinación. Fuente: [24].....	12
Figura 2. 4. Declinación solar según el día del año. El ángulo es cero durante los equinoccios y alcanza su mayor valor en los solsticios. Fuente: [24]	12
Figura 2. 5. Unión de semiconductor tipo P con semiconductor tipo N. Fuente: [13]...	16
Figura 2. 6. Estructura de la célula solar fotovoltaica. Fuente: [26].....	16
Figura 2. 7. Esquema sistema fotovoltaico conectado a red. Fuente: [24]	18
Figura 2. 8. Esquema sistema fotovoltaico aislado. Fuente: [24].....	18
Figura 2. 9. Esquema conexión serie y paralelo células fotovoltaicas. Fuente: [26].....	19
Figura 2. 10. Curva característica módulo fotovoltaico Corriente Vs. Tensión. Fuente: [24]	19
Figura 2. 11. Curva característica Corriente Vs. Tensión para temperatura constante (gráfica 1), y para irradiancia constante (gráfica 2). Fuente: [24]	20
Figura 2. 12. Comparativa entre distintos tipos de bombeo según el caudal diario y la profundidad de bombeo (se han considerado datos de insolación de 3 kWh/m ² y velocidad media del viento de 4,5 m/s). Fuente: [24]	23
Figura 2. 13. Constitución de un panel solar. Se destacan sus principales características. Fuente: [26]	24
Figura 2. 14. Esquema diferentes tipos de bombas. Primera imagen: bomba centrífuga; segunda: bomba mixta o heliocentrífuga; tercer: bomba axial. Fuente: [23]	24
Figura 3. 1. Reservas de agua en el subsuelo de África y su profundidad. Fuente: [22]	28
Figura 3. 2. Mapa de las regiones y zonas de Etiopía. Fuente: [28].....	31

Figura 3. 3. Región de Afar. Fuente: [29]	32
Figura 3. 4. Ubicación satélite de Abala. Fuente: [20]	33
Figura 3. 5. Localidad de Abala, Etiopía. Fuente: [31]	33
Figura 4. 1. Esquema sistema de bombeo fotovoltaico a depósito a dimensionar. Fuente: [Elaboración propia].....	34
Figura 4. 2. Esquema instalación bombeo solar indicando alturas, [Elaboración propia]	36
Figura 4. 3. Vista aérea de localización exacta para la ubicación del pozo en Abala, Etiopía. Fuente: [20].....	39
Figura 4. 4. Datos de irradiación para la localización exacta de pozo en Abala, Etiopía. Fuente: [19]	40
Figura 4. 5. Datos de temperatura y precipitaciones para Abala (Etiopía). Fuente: [21].....	41
Figura 4. 6. Cielo nublado, sol y días de precipitaciones en Abala (Etiopía). Fuente: [21]	41
Figura 4. 7. Datos de caudal, altura y potencia pico introducidos en el programa on-line de Grundfos para bombas sumergibles SP. Fuente: [33].....	44
Figura 4. 8. Curva altura vs caudal de la bomba SP 9 -10. Fuente: [33]	44
Figura 4. 9. Esquema dimensional de la bomba SP 9 -10. Fuente: [33].....	45
Figura 4. 10. Imagen del inversor seleccionado INVT BPD 2200W. Fuente: [34]	46
Figura 4. 11. Parte de la ficha técnica del inversor INVT BPD 2200 W. Fuente: [34]..	46
Figura 4. 12. Características técnicas módulo fotovoltaico CS6K – 145P. Fuente: [35].....	47
Figura 4. 13. Curvas I-V para modelo CS6K-150P (similar al seleccionado). Fuente: [35]	47
Figura 4. 14. Diámetros nominales tuberías de PVC para agua potable TUYPER GRUPO. Fuente: [36]	52

Figura 4. 15. Tabla de medidas y capacidades de los tanques cilíndricos Tankero. Fuente: [37]	57
Figura 4. 16. Parte de la tabla 52- B1, métodos de instalación de referencia. Fuente: [UNE 20460-5-523:2004]	59
Figura 4. 17. Parte de la tabla A.52-1 BIS de la norma UNE 20460-5-523:2004. Intensidades admisibles en amperios. Temperatura ambiente 40°C en el aire. Fuente: [UNE 20460-5-523:2004].....	59
Figura 4. 18. Dimensiones cables H07V-K. Fuente: [38]	65
Figura 4. 19. Imagen del cable H0V7-K. Fuente: [38].....	65
Figura 4. 20. Características técnicas cable DN-F Bombas Sumergidas. Fuente: [39]..	66
Figura 4. 21. Mecanismo de funcionamiento de un diferencial eléctrico. Fuente: [41].	68
Figura 4. 22. Ficha técnica diferencial bipolar Hager 25A. Fuente: [42].....	69
Figura 4. 23. Magnetotérmico MUN 116A de la marca Hager (similar al escogido). Fuente: [42]	71
Figura 4. 24. Esquema acotado de paneles solares Canadian Solar CS6C-145P. Fuente: [35]	72
Figura 4. 25. Hoja de especificaciones pica Erico cobreada, con punta de 1,5 metros de longitud. Fuente: [17]	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1. Ventajas y desventajas de la energía solar. Fuente: [12].....	14
Tabla 2. 2. Tipos de módulos fotovoltaicos. Fuente: [24].....	17
Tabla 2. 3. Comparativa de distintas técnicas de bombeo. Fuente: [15]	22
Tabla 2. 4. Comparativa distintos tipos de bomba según requerimientos de instalación. Fuente: [25]	25
Tabla 3. 1. Comparativa entre datos de educación y salud Etiopía-España. Fuente: [27].....	30
Tabla 4. 1. Necesidades hídricas de personas, animales y tierras de cultivo. Fuente: [32]	35
Tabla 4. 2. Tabla resumen de datos de días de sol, días de precipitaciones y temperatura máxima obtenidos de ‘meteoblue’ en Abala (Etiopía). Fuente: [Elaboración propia]...	42
Tabla 4. 3. Valores del coeficiente K para algunos elementos singulares. Fuente: [CONAGUA, 2002]	56
Tabla 4. 4. Tabla de factor de corrección de la temperatura ambiente 52 D1 de la norma UNE 20460-5-523:2004. Fuente: [UNE 20460-5-523:2004].....	60
Tabla 4. 5. Intensidad máxima admisible, cable DN-F, sumergido o enterrado, UNE 21166. Fuente: [UNE 21166]	63
Tabla 4. 6. Resumen del dimensionado de los cables conductores. Fuente: [Elaboración propia].....	65

1. INTRODUCCIÓN

Gracias a un estudio realizado por Gonzalo Míguez-Macho, profesor de la Universidad de Santiago de Compostela y Ying Fan, profesor de la Universidad Rutgers de Nueva Jersey, para la revista Science, sabemos que hasta el 32% de las tierras del planeta están alimentadas por acuíferos subterráneos poco profundos. Este estudio recoge información a nivel mundial, que concluye en un mapa global de las aguas subterráneas poco profundas. [16]

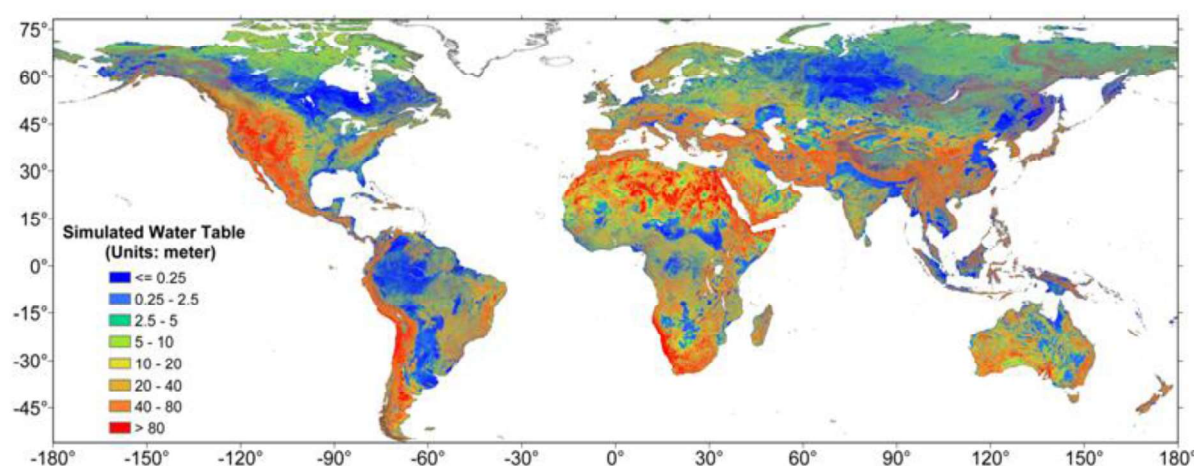


Figura 1. 1. Mapa global de las aguas subterráneas poco profundas. Fuente: [16]

Este mapa de aguas subterráneas contrasta con los alarmantes datos, a escala mundial, que concluyen que más de 2000 millones de personas no disponen de agua gestionada de forma segura, y de esta parte de la población, más de 800 millones no cuenta si quiera con un servicio básico de agua potable. Además, más del doble carecen de servicios de saneamiento seguros, según un nuevo informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y del UNICEF¹. Para el año 2050, debido al rápido crecimiento de la población mundial, se prevé que la demanda de agua aumente en casi un tercio. [4]

¹ UNICEF (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia) es un organismo de la Organización de las Naciones Unidas cuyo objetivo es promover los derechos de los niños, suplir sus necesidades básicas y contribuir a su desarrollo.

Cabe señalar también que en los países que experimentan conflictos o disturbios, los niños tienen cuatro veces menos probabilidades de utilizar servicios básicos de agua y dos veces menos de utilizar servicios de saneamiento. Además, las desigualdades entre zonas rurales y urbanas son destacables: de los 161 millones de personas que utilizan aguas superficiales no tratadas, 150 millones viven en zonas rurales. [5]

Las enfermedades causadas por la falta y la contaminación del agua no se quedan atrás: la diarrea por ingesta de agua y/o alimentos en mal estado es la causa de la muerte de más de 2 millones de niños. [5]

1.1. MOTIVACIÓN

Desde el comienzo de mis estudios de ingeniería en la Universidad Carlos III de Madrid, una de mis principales motivaciones ha sido poder aplicar los conocimientos aprendidos a mejorar la vida de personas cuyas necesidades básicas no están cubiertas.

La Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció el 28 de julio de 2010 a través de la Resolución 64/292 el derecho humano al agua y el saneamiento como “un derecho humano esencial para el pleno disfrute de la vida y de todos los seres humanos”. Esta resolución además “exhorta a los Estados y las organizaciones internacionales a que proporcionen recursos financieros y propicien el aumento de la capacidad y la transferencia de tecnología por medio de la asistencia y la cooperación internacionales, en particular a los países en desarrollo, a fin de intensificar los esfuerzos por proporcionar a toda la población un acceso económico al agua potable y el saneamiento”. [1]

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo recoge en el Objetivo 6 de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible el acceso a agua limpia y saneamiento; según sus datos, más del 40% de la población mundial sufre la escasez de agua. [2]

“El agua potable, el saneamiento y la higiene en el hogar no deben ser un privilegio exclusivo de quienes son ricos o viven en centros urbanos” dice el Dr. Tedros Adhanom Ghebreyesus, Director General de la Organización Mundial de la Salud. “Se trata de servicios fundamentales para la salud humana, y todos los países tienen la responsabilidad de garantizar que todo el mundo pueda acceder a ellos”. [3]

En pleno conocimiento de estos datos nace la motivación para la realización de un trabajo de estas características, con el objetivo de garantizar el derecho humano del acceso al agua a una mayor parte de la población.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La definición de agua potable salubre y el saneamiento básico de esta se define según la Organización Mundial de la Salud (OMS) del siguiente modo:

- El agua potable es aquella utilizada para los fines domésticos y la higiene personal, así como para beber y cocinar.
- La fuente de agua debe situarse a no más de 1000 metros del lugar de utilización.
- Se han de poder obtener al menos 20 litros de agua diarios de la fuente para cada miembro de la familia.

Como saneamiento básico se entiende la tecnología de más bajo costo que permite eliminar las aguas residuales y tener un medio ambiente limpio y sano tanto en la vivienda como en las proximidades. [3]

Los datos sobre un rápido crecimiento demográfico unidos al creciente deterioro del medio ambiente hacen urgente la necesidad de crear nuevas formas de abastecimiento de agua que respeten a su vez el medio ambiente, pues hay muchas personas que no cuentan con los requisitos mínimos de agua potable y abastecimiento.

1.3. OBJETIVOS

El objetivo de este proyecto se centra en el abastecimiento de agua a localizaciones remotas. Las localizaciones a las que va destinado este estudio son aquellas que desgraciadamente, además de no contar con un acceso a agua potable, no disponen de muchos recursos económicos, y en muchos casos, no disponen tampoco de acceso a electricidad.

Los proyectos de cooperación son proyectos que precisamente tratan este tipo de situaciones, es decir, hacen llegar, sobre todo a países en vías de desarrollo, soluciones a problemas reales y de primera necesidad de la manera más económica y medioambientalmente sostenible posible. De hecho, una de las principales características que define un proyecto de cooperación es que su objetivo ha de mejorar situaciones, cubrir necesidades, resolver problemas. En definitiva, objetivos que promuevan el desarrollo.

La historia del bombeo solar como proyecto de cooperación se remonta a los años 70, cuando un misionero católico, el padre Bernard Verspieren, fundó la ONG ‘Mali Agua Viva’. Con la ayuda de la ingeniera francesa Dominique Camapara instaló un sistema de bombeo aún rudimentario en Nabasso, Mali, que supuso una pequeña revolución en mitad de la sabana semidesértica, ya que proporcionaba agua sin esfuerzo manual o combustible. [6]

Así se empezó a considerar desde el primer momento el bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica como una solución válida para este tipo de proyectos, ya que se basa en una energía renovable, limpia y capaz de ser usada en sistemas aislados, siendo viable su aplicación en países en vías de desarrollo.

En la actualidad, gracias a la disminución del precio de los módulos fotovoltaicos y al aumento de su demanda, se han desarrollado equipos más eficientes y económicos, favoreciendo que muchas agencias, ONG y gobiernos lo estén empleando para el abastecimiento de agua y regadío.

Por lo tanto, el objetivo de este proyecto es el diseño de un sistema de bombeo solar mediante energía solar fotovoltaica, que pueda ser aplicado en una localidad con las necesidades explicadas.

En definitiva, este trabajo de fin de grado se plantea como un modelo de proyecto de cooperación cuyo objetivo es abastecer a parte de la población que no cuenta con un acceso adecuado a agua potable mediante una energía limpia y autónoma.

1.4.DESARROLLO DEL PROYECTO

La organización de este proyecto se ha basado en la división del trabajo por fases, teniendo marcadas cada una de ellas una serie de objetivos. Dichas fases no tienen por qué seguir un orden estricto, es decir, pueden solaparse en el tiempo, puede comenzar una sin que la anterior esté acabada, siempre y cuando se siga un orden lógico de cumplimiento de objetivos.

Distinguimos varias fases:

Fase de planificación

En el mes de noviembre de 2017 se realiza la primera reunión con el tutor para esclarecer las dudas sobre el posible planteamiento del tema, así como de los objetivos que debe alcanzar el proyecto.

- En primer lugar, se elige el tema principal del proyecto: la aplicación de un sistema de bombeo solar en localidades remotas.
- A continuación, se realiza un esquema general de la estructura del proyecto, surgiendo como primera idea la realización de un modelo general de sistema de bombeo solar fotovoltaico que se pueda aplicar a diferentes localizaciones.
- Se estudia también la posibilidad de realizar un programa que ayude a aplicar el sistema a las distintas localizaciones.
- Una vez marcada la estructura del proyecto, se plantean las fechas de presentación posibles, y se marca un calendario de realización basado en ellas.

Fase de investigación

La segunda fase del proyecto consistió en recopilar información sobre la situación actual del bombeo solar, los diferentes tipos existentes, así como de la búsqueda de diferentes emplazamientos donde aplicar nuestro modelo. Algunas de las acciones que se llevaron a cabo durante esta fase fueron:

- Investigar sobre el funcionamiento de los sistemas de bombeo solar.
- Buscar información sobre proyectos similares que se han llevado a cabo en la vida real.
- Buscar localizaciones donde fuese viable y útil la aplicación del modelo.

- Buscar los componentes necesarios para la instalación.
- Estudiar el marco regulador que afecta a la aplicación del proyecto.

Fase de dimensionado y búsqueda de componentes

Una vez elegido el tipo de instalación que se va a aplicar, se procede al dimensionado general de todos los componentes según las necesidades de nuestro proyecto.

- Se realizan los cálculos necesarios.
- Se buscan componentes que se adapten a los resultados obtenidos
- Entre todos los componentes disponibles se eligen los que tanto económica como funcionalmente vayan a adaptarse mejor.

Fase de documentación

Finalmente, una vez elegido cada componente de la instalación, dando lugar al modelo de bombeo solar fotovoltaico, se procede a realizar la memoria del proyecto. En esta última fase, se realiza la estructura final del proyecto y se expone cada punto analizado en las anteriores fases, siguiendo los siguientes pasos:

- Se realiza la estructura del proyecto, organizando todo el contenido que se quiere exponer.
- De toda la información recopilada durante la fase de investigación, se decide qué información es la más pertinente.
- Se expone el dimensionado realizado, explicando en detalle los cálculos realizados.
- Se contabilizan todos los recursos utilizados durante el proyecto para la elaboración del presupuesto final.
- Se realiza una conclusión general.
- Se finalizan todos los apartados, referenciando cada figura, tabla y ecuación. Se termina de completar la bibliografía.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. EVOLUCIÓN DEL USO DE LA ENERGÍA

El fuego representa la primera evidencia que se tiene del uso de una fuente de energía por parte del ser humano, y data de hace un millón de años, representando el punto de salida hacia la búsqueda y explotación de recursos energéticos. Miles de años fueron necesarios hasta que el ser humano fue capaz de controlar el fuego para sus diferentes necesidades, como son, calentarse, cocinar o defenderse de animales.

Con el abandono de la vida nómada, el ser humano empezó a desarrollar la alfarería y más adelante la metalurgia, implicando así la combustión de madera y carbón vegetal de forma intensiva.

Ya en la Edad Media, con la necesidad de moler cereales y bombear agua, se inventarían los molinos hidráulicos y de viento. Además, empezó a popularizarse el uso del carbón como fuente de energía por combustión.

A finales del siglo XVII, tienen lugar importantes progresos en la Física y la Química, que darían lugar al desarrollo de la máquina de vapor, pilar de la Revolución Industrial en el XVIII.

La combustión de la madera sostuvo hasta mediados del XIX este desarrollo hasta que, los combustibles fósiles, primero con el carbón y después con el petróleo, tomaron un protagonismo que se mantiene hoy en día.

Los motores de corriente continua llegaron gracias al avance en los conocimientos de electricidad y electromagnetismo, que permitieron transformar la energía eléctrica en mecánica. Poco después llegarían los motores de corriente alterna, el transporte de la electricidad, el alumbrado eléctrico, etc.

Nikolaus August Otto inventaría el motor de combustión interna a finales del siglo XIX, que dispararía la demanda de petróleo, desbancando a la de carbón. A su vez, el consumo de electricidad seguiría creciendo alimentado por las centrales hidroeléctricas y térmicas.

Los bases de la Energía Nuclear se descubrirían a comienzos del siglo XX de la mano Otto Hahn. Cuatro años después, Enrico Fermi construiría el primer reactor nuclear.

Desde el último tercio del siglo XX hasta la actualidad, la creciente preocupación por los altos niveles de contaminación, el cambio climático y la escasez de recursos fósiles, están dirigiendo los esfuerzos hacia la producción e investigación de energías renovables, energías limpias que puedan sustituir el uso de combustibles fósiles en un futuro no muy lejano. [7]

2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS

Los recursos energéticos se pueden englobar en dos grandes grupos de fuentes energéticas: las renovables y las no renovables

Las fuentes de **energía renovable** son aquellas que fluyen de la naturaleza de forma permanente y que pueden ser transformadas por el ser humano en energía útil. [8]

Entre sus ventajas destacan las siguientes:

- Son consideradas fuentes de energía inagotables, ya que la energía consumida se compensa con la regeneración natural, siempre y cuando el consumo no supere la capacidad regenerativa.
- En general, no generan problemas medioambientales, tratándose de energías limpias.
- Reducen la dependencia exterior en el abastecimiento energético, tratándose de energías autóctonas.

Por otro lado, entre sus inconvenientes destacan los siguientes:

- No son fuentes de energía permanentes, son variables y no previsibles.
- Producen impactos visuales elevados.
- Presentan dificultades de almacenamiento.
- Sus eficiencias no son tan altas en general como las de las energías no renovables, estando muchas en continua investigación.

En el lado opuesto nos encontramos con las **energías no renovables**, aquellas que han sido generadas a partir de procesos biológicos muy lentos a lo largo de miles de años, por lo que la energía que se consume no es regenerada de nuevo, siendo así recursos limitados que se van agotando. Además, se trata de energías que producen residuos, siendo así altamente contaminantes y dependientes del exterior, puesto que no tienen por qué ser autóctonas. Eso sí, estas energías cuentan con formas de acumulación, pudiendo ser aprovechadas en cualquier época del año.

2.2.1. Energías renovables

Existen varios tipos de energías renovables. [9] [10]

- Energía eólica: se aprovecha la energía cinética del viento a través de los llamados aerogeneradores. Así, se aprovechan las corrientes de aire para la generación de electricidad.
- Energía hidráulica: se aprovechan la energía del agua en centrales hidroeléctricas, haciendo pasar este fluido por turbinas hidráulicas que transmiten la energía a un alternador donde se transforma en energía eléctrica.
- Energía geotérmica: energía proveniente del centro de la tierra, relacionada con los volcanes, las aguas termales, etc. Esta energía se encuentra almacenada bajo la superficie terrestre en forma de calor.
- Energía mareomotriz: es la producida por el movimiento de las mareas y las corrientes marinas.
- Energía de biomasa: proveniente de la materia orgánica animal como grasas, restos de excrementos, entre otros, o a partir de materia vegetal.
- Energía solar: se basa en el aprovechamiento de la radiación solar que llega a la superficie terrestre transformándola en electricidad o en calor.

2.2.2. Energías no renovables

Hay cuatro principales fuentes de energía no renovable, pudiéndose subdividir en:

- Combustibles fósiles: aquellos que derivan de la materia orgánica que ha sido atrapada entre las capas de sedimentos de la corteza terrestre durante millones de años. Entre ellos encontramos: [11]

- **Petróleo crudo:** aquel acumulado en forma de líquido en las capas de la corteza terrestre. Es un combustible muy versátil, utilizado para producir plásticos, combustible para calefacción, diésel, gasolina, etc.
- **Gas:** gases que se encuentran bajo la corteza terrestre. Los más comunes son el metano y el etano, utilizados para la calefacción del hogar, los hornos de gas y las parrillas, entre otros.
- **Carbón:** creado por la materia orgánica comprimida, se obtiene a través de la minería. Su uso más común es en calefacciones y centrales eléctricas.
- **Combustibles nucleares:** todos aquellos materiales que hayan sido adaptados para poder ser utilizados en la generación de energía nuclear. El proceso más utilizado y conocido es la fisión nuclear; el combustible nuclear más común está formado por elementos fisibles como el uranio, generando reacciones en cadena controladas dentro de los reactores nucleares que se encuentran en las centrales nucleares. [12]

2.3. LA RADIACIÓN SOLAR

El Sol es una estrella que se encuentra a una temperatura media de 6000 K y en cuyo interior tienen lugar reacciones de fusión nuclear, liberando energía. Se comporta como un cuerpo negro, pues absorbe toda la energía incidente desde el exterior, y emite toda la energía incidente desde el interior.

El conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por esta estrella es lo que conocemos como radiación solar. Esta radiación se distribuye desde el infrarrojo hasta la radiación ultravioleta en el llamado espectro de radiación solar, ahora bien, no toda la radiación alcanza la superficie terrestre, pues las ondas ultravioletas más cortas son absorbidas por ciertos gases de la atmósfera. [24]

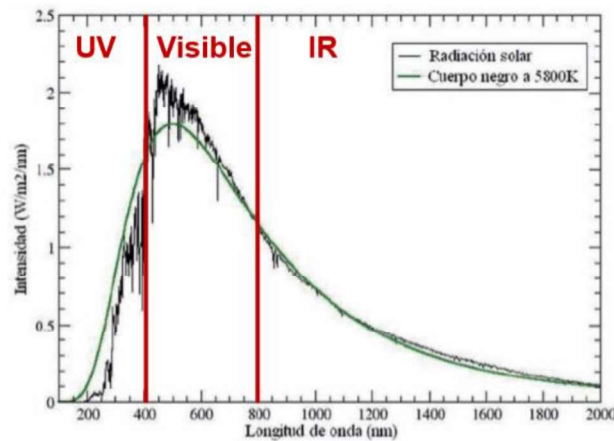


Figura 2. 1. Espectro de radiación solar. Fuente: [24]

La radiación solar que llega a la tierra se mide mediante el parámetro de la irradiancia, que mide la potencia por unidad de superficie que alcanza la Tierra [W/m^2].

La radiación solar puede dividirse en: [24]

- Radiación directa (I_D): es la que procede directamente del sol.
- Radiación reflejada (I_R): es la que procede de reflexiones en el suelo terrestre.
- Radiación difusa (I_d): resto de radiaciones.

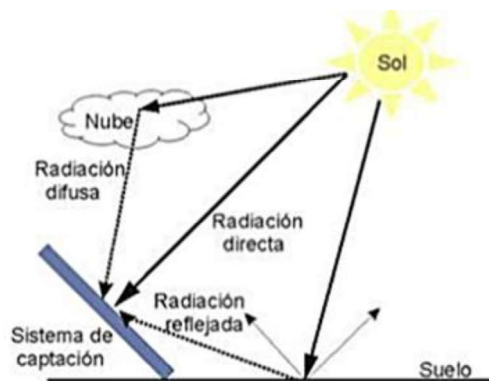


Figura 2. 1. Tipos de radiación solar. Fuente: [24]

La radiación solar directa alcanza la superficie terrestre con cierto ángulo dependiendo del día y de la hora. Por esto, resulta conveniente inclinar los sistemas de captación solar con un cierto ángulo, siendo el óptimo de inclinación es el siguiente: [24]

$$\beta_{opt}(t) = \phi - \delta(t)$$

Ecuación 2.1. Ángulo óptimo de inclinación de colectores solares

Siendo:

- β : ángulo de inclinación. En el hemisferio norte inclinar siempre hacia el sur.
- Φ : latitud del lugar
- δ : declinación (ángulo formado entre la línea que une los centros de Sol y Tierra y el plano ecuatorial)

La declinación se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$\delta = 23,45 \operatorname{sen} \left(360 \frac{284 + n}{365} \right)$$

Ecuación 2.2. Ángulo de declinación solar en función del día del año

Siendo 'n' el día del año concreto.



Figura 2. 2. Ángulo de declinación. Fuente: [24]

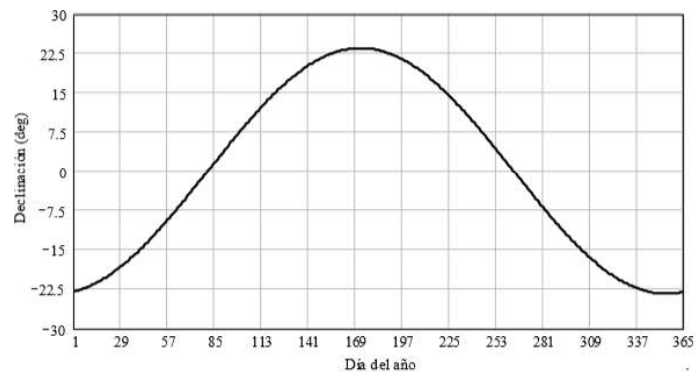


Figura 2. 3. Declinación solar según el día del año. El ángulo es cero durante los equinoccios y alcanza su mayor valor en los solsticios. Fuente: [24]

El ángulo óptimo de inclinación de los colectores solares se deduce de la fórmula anterior, aunque, según las aplicaciones puede variar. Existen instalaciones de seguimiento solar en las que el ángulo β irá variando para obtener siempre la máxima capacidad de absorción diaria. En instalaciones fijas se mantendrá el ángulo β constante, vamos a mencionar algunas aplicaciones a continuación (tomando como referencia el hemisferio norte): [24]

- Calefacción mediante colectores térmicos: ángulo β_{opt} algo mayor que la latitud (favorecer el invierno).
- Agua caliente sanitaria con colectores térmicos: $\beta_{\text{opt}} + 10^\circ$ (favorecer el invierno).
- Electricidad mediante módulos fotovoltaicos:
 - Instalación aislada: se caracteriza por una necesidad de electricidad relativamente constante. Aproximadamente $\beta_{\text{opt}} + 10^\circ$ o algo menor.
 - Instalación conectada a red: se busca maximizar la producción anual. Ángulo β_{opt} favorecedor al verano.

2.4. LA ENERGÍA SOLAR

El uso de sistemas energéticos mediante luz solar ya era aprovechado por las antiguas civilizaciones griegas, chinas y romanas, que, con objetivos principalmente bélicos, usaban espejos curvos para centralizar rayos de sol sobre un objeto y hacerlo arder.

La energía solar es una energía renovable y rentable, que cada vez está adquiriendo más importancia en el panorama mundial. De hecho, el pasado año 2017 la energía solar se convirtió en el sector que más aumentó la capacidad para producir electricidad y cuyo incremento de inversiones creció a mayor velocidad que el del resto de fuentes de energía, incluidas las de los combustibles fósiles. A continuación, se resumen en una tabla algunas de sus ventajas y desventajas: [12]

Ventajas	Desventajas
Energía limpia y renovable	Eficiencia energética aún pobre comparada con otras fuentes
Instalación rápida y poca mano de obra	Gran inversión inicial debido a lo relativamente novedoso de esta tecnología.
Inversión inicial amortizada en poco tiempo	Necesidad de almacenamiento de la energía, sobre todo en épocas poco soleadas.
La energía solar fotovoltaica facilita la llegada de corriente eléctrica a localizaciones remotas	Fabricación de células fotovoltaicas mediante energías no renovables
Abastecimiento de energía renovable constante	Contaminación visual (paneles solares poco estéticos)

Tabla 2. 1. Ventajas y desventajas de la energía solar. Fuente: [12]

Los mecanismos de aprovechamiento de energía solar que existen en la actualidad son tres: [24]

- Energía solar pasiva: es el método más antiguo de aprovechamiento de radiación solar. Este sistema no se basa en el uso de ningún dispositivo o aparato intermedio, sino que se basa en la correcta ubicación, orientación y diseño de los edificios, así como en la utilización de los materiales más apropiados (aislamiento, protecciones, cubiertas...). Esta forma de aprovechar la energía solar se denomina arquitectura bioclimática,
- Energía solar fotovoltaica: utiliza módulos fotovoltaicos, comúnmente fabricados de silicio, para generar corriente eléctrica. Se puede utilizar tanto en instalaciones autónomas como para suministrar a la red eléctrica.
- Energía solar térmica: se basa en el uso de colectores solares para calentar agua que se podrá usar como agua caliente sanitaria o como método de calefacción. Hacen uso de diferentes tipos de captadores solares para atraer la radiación.

2.4.1. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica basa su funcionamiento en el efecto fotoeléctrico, que, como explicó por primera vez Albert Einstein y como más tarde observó Heinrich Hertz en 1890, se traduce en que ciertos materiales expuestos a radiación electromagnética emiten electrones. Es decir, bajo ciertas condiciones, los fotones liberan a los electrones de los núcleos a los que han permanecido unidos, produciéndose así la corriente eléctrica. Las características principales de este fenómeno son: [24]

- Cada sustancia tiene una frecuencia mínima, llamada umbral, de la radiación electromagnética por debajo de la cual no se producen fotoelectrones.
- La emisión de electrones aumenta al incrementar la intensidad de radiación incidente sobre la superficie del metal, ya que, hay más energía disponible para la liberación de electrones.
- Se denomina ‘gap’ a la energía mínima asociada a un fotón para poder liberar un electrón de un material semiconductor.

Cuando se produce la liberación de un electrón del átomo, se crea un par electrón-hueco (e-h) en el cual el electrón cuenta con carga negativa, y el hueco con carga positiva. Con la intención de aprovechar de la mejor manera estos pares e-h, las células fotovoltaicas se fabrican de tal manera que se unen dos capas de materiales diferentes. Uno de ellos sería el material semiconductor de tipo N, dopado con átomos que contengan un electrón más en su capa de valencia (habitualmente fósforo). El otro material sería el semiconductor de tipo P, dopado con átomos que contengan un electrón menos en su capa de valencia (habitualmente boro).

De este modo tiene lugar la difusión de exceso de huecos de la capa P hacia la capa N, y a la difusión de exceso de electrones en sentido contrario, formando un campo eléctrico en torno a la unión de dichos materiales, cuando la lámina tipo N se expone a la radiación solar.

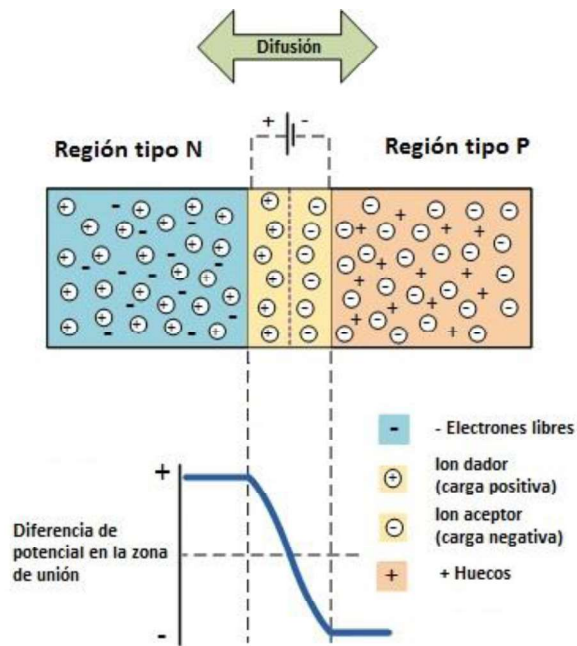


Figura 2. 4. Unión de semiconductor tipo P con semiconductor tipo N. Fuente: [13]

El tipo de corriente que se genera de la unión de estos materiales, y que por lo tanto es el tipo de corriente que surge de las células fotoeléctricas, es corriente continua.

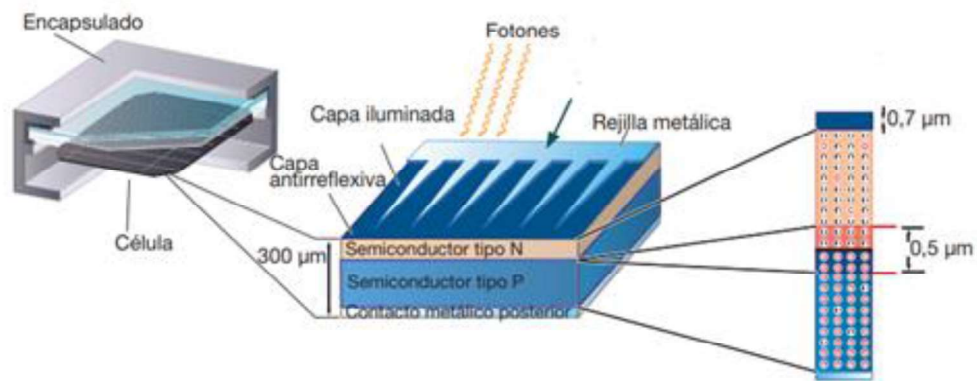


Figura 2. 5. Estructura de la célula solar fotovoltaica. Fuente: [26]

La unión en serie o en paralelo de varias células fotoeléctricas da lugar a los paneles o módulos fotovoltaicos. Existen tres tipos de módulos fotovoltaicos, resumidos en la siguiente tabla:


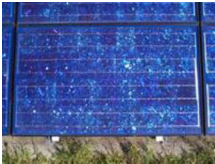

Células	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
AMORFO 	16 %	<10 %	Color homogéneo marrón, sin conexión visible entre las células	Se deposita en forma de lámina delgada sobre un sustrato como vidrio o plástico
POLICRISTALINO 	19-20 %	12-14 %	Superficie estructurada en cristales con distintos tonos de azul	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro
MONOCRISTALINO 	24 %	15-18 %	Azul homogéneo. Se observan las conexiones de las células individuales.	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro. Más fases de cristalización que el policristalino

Tabla 2. 2. Tipos de módulos fotovoltaicos. Fuente: [24]

Los módulos fotovoltaicos se conectan a su vez para formar sistemas fotovoltaicos, en serie o en paralelo, dependiendo de la tensión y corriente deseadas. Los componentes de un sistema fotovoltaico dependerán de si el sistema estará conectado a red o será aislado.

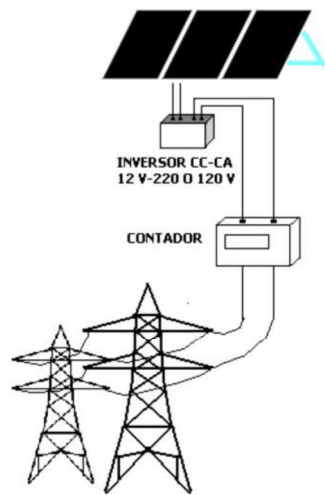


Figura 2. 6. Esquema sistema fotovoltaico conectado a red. Fuente: [24]

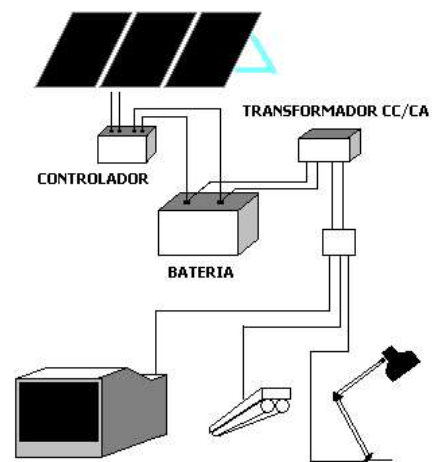


Figura 2. 7. Esquema sistema fotovoltaico aislado. Fuente: [24]

2.4.1.1. Conexión eléctrica de las células solares

La potencia proporcionada por una célula de tamaño estándar es muy pequeña, por ello, será necesaria la asociación de varias para obtener la potencia necesaria del sistema. Es de aquí de donde surge el concepto de panel o módulo fotovoltaico, cuyas características han sido explicadas en el punto anterior.

La conexión realizada puede ser de dos tipos:

- En serie: permite aumentar la tensión final en los extremos de la célula equivalente.
- En paralelo: permite aumentar la intensidad total del conjunto.

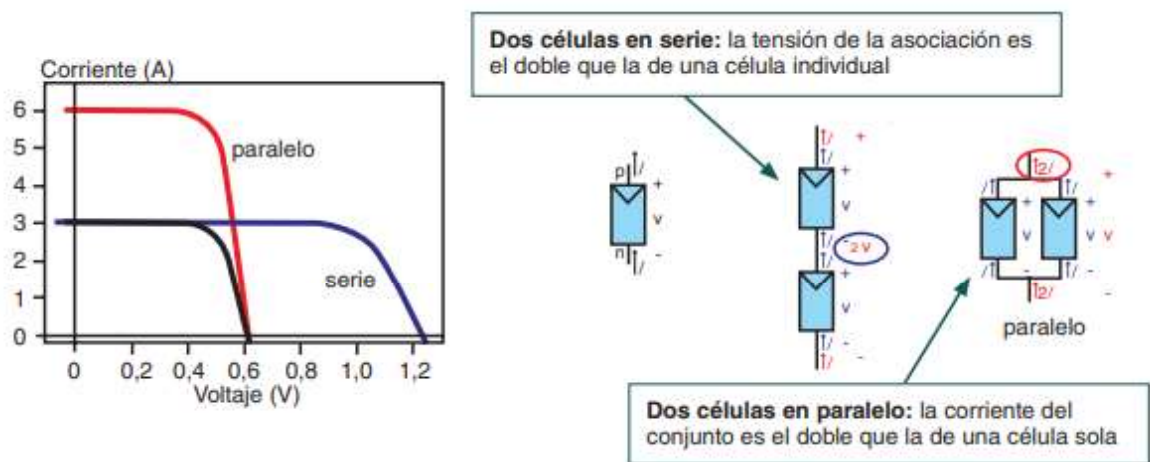


Figura 2. 8. Esquema conexión serie y paralelo células fotovoltaicas. Fuente: [26]

2.4.1.2. Curvas características del módulo fotovoltaico

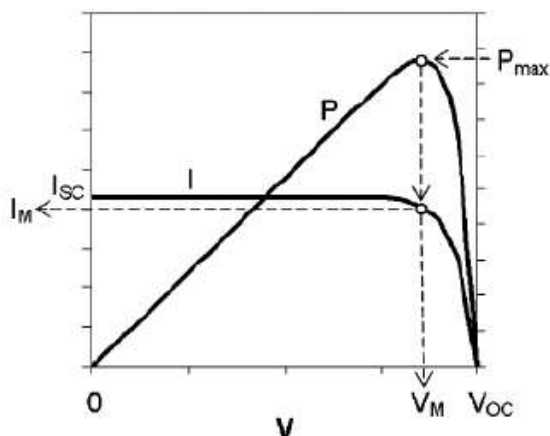


Figura 2. 9. Curva característica módulo fotovoltaico Corriente Vs. Tensión. Fuente: [24]

- Corriente de cortocircuito (I_{sc}) [Amperios]: máxima intensidad generada cuando no hay conectado ningún consumo y se cortocircuitan los bornes del panel. Su valor aproximado es de 3 A.
- Tensión de circuito abierto (V_{oc}) [Voltios]: máxima tensión generada cuando no hay conectado ningún consumo y los bornes están al aire. Su valor suele ser menor de 22 V para módulos que trabajan a un voltaje nominal de 12 V.

- Punto de máxima potencia (I_M, V_M): punto de mayor rendimiento del panel (potencia entregada máxima). Los valores de intensidad y voltaje máximos son algo menores que los de intensidad de cortocircuito y tensión de circuito abierto. El valor de potencia máxima ronda entre los 25 y los 300 Watios. [24]

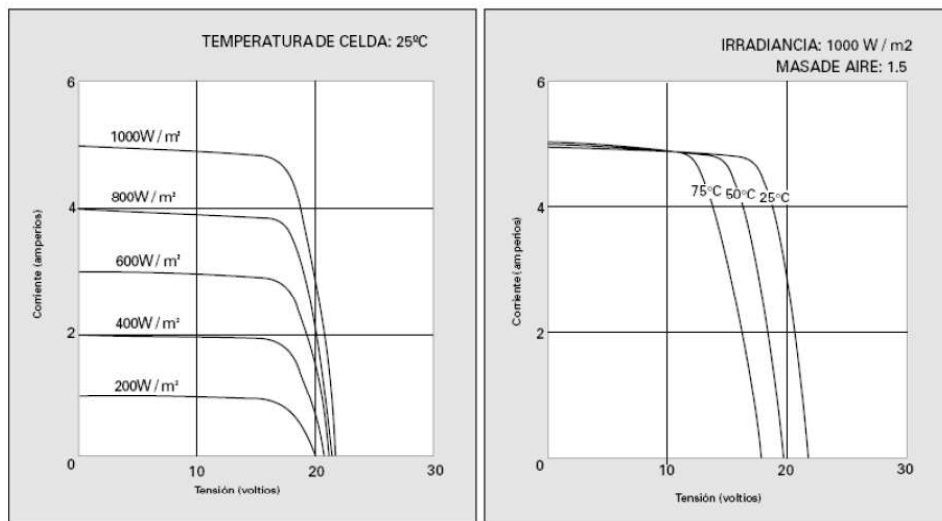


Figura 2. 10. Curva característica Corriente Vs. Tensión para temperatura constante (gráfica 1), y para irradiancia constante (gráfica 2). Fuente: [24]

La primera gráfica corresponde a valores de tensión y corriente a una temperatura de la celda de 25°C (la eficiencia aumenta a medida que baja la temperatura) y parte de una radiación máxima de 1000 W/m². De la gráfica observamos que, si nos movemos a la derecha partiendo del eje Y, aumenta el valor de la tensión, mientras que el valor de la corriente se mantiene casi constante hasta llegar a un punto de inflexión en el que tiende a cero. Este punto de inflexión corresponde al punto de máxima potencia para el panel.

De la segunda gráfica observamos que para una irradiación constante de 1000 W/m², la temperatura de la celda aumenta con la disminución de la tensión.

2.5. SISTEMAS DE EXTRACCIÓN DE AGUA

El aprovechamiento de agua a través del subsuelo ha sido la base de muchas sociedades a lo largo de la historia. La obtención de agua subterránea necesita de una cantidad de energía sustancial, por lo que, hasta la revolución industrial, se utilizaban sistemas de extracción mecánicos. La aparición de la electricidad, y con ello la bomba hidráulica eléctrica, supuso un gran avance que hizo posible el acceso a aguas subterráneas a muchas más personas.

2.5.1. Tipos de sistemas de bombeo

Se han desarrollado muchos métodos de bombeo de agua a lo largo de la historia de la humanidad, pasando por la utilización de la fuerza de los animales, el uso de la energías hidráulica, eólica y solar, así como el uso de combustibles. Las bombas más utilizadas en aplicaciones para comunidades remotas han sido: [12]

- Bombas manuales
- Bombas accionadas directamente por diésel
- Bombas eléctricas sumergibles acopladas a un generador diésel
- Bombas solares sumergibles

Se describen en la siguiente tabla algunas de sus principales ventajas e inconvenientes:

Tipo de bomba	Ventajas	Inconvenientes
Bomba manual	Es posible su fabricación local Fácil de mantener Bajo coste Cero coste de combustible	Pérdida de productividad humana Frecuente uso ineficiente de los pozos Pequeño caudal de flujo
Bomba hidráulica	Cero coste de combustible Fácil mantenimiento Bajo coste Larga vida útil Alta fiabilidad	Condiciones específicas de ubicación Bajo rendimiento

Bomba eólica	Cero coste de combustible	Difícil instalación
	Fácil mantenimiento	Almacenamiento de agua para periodos con poco viento
	Larga vida útil	Necesidad de una buena planificación de diseño del proyecto
	Se pueden fabricar de forma local	
Bomba de diésel y gasolina	Cero coste de combustible	Elevado coste de equipo
	Bajo mantenimiento	Almacenamiento de agua en periodos nublados
	Fácil instalación	Técnicos entrenados para ciertas reparaciones
	Larga vida útil	
Bomba solar fotovoltaica	Bajo coste inicial	Suministro de combustible errático y elevado
	Rápido y fácil mantenimiento	Elevado coste de mantenimiento
	Pueden ser portátiles	Corta vida útil
		Contaminación por humo y ruido

Tabla 2. 3. Comparativa de distintas técnicas de bombeo. Fuente: [15]

En la actualidad, debido a los altos niveles de contaminación en los que nos encontramos, nos vemos en la necesidad de reducir el uso de energía procedente de combustibles fósiles, por lo que, gracias al empleo de bombas basadas en energías limpias como la eólica, solar e hidráulica explicadas en la tabla anterior, se logra combinar los avances técnicos de las bombas eléctricas con una fuente de energía renovable.

En este proyecto, se ha optado por las bombas solares fotovoltaicas, debido a la cantidad de luz solar que llega a las localizaciones donde se estudiará la utilización de este estudio, a su fácil mantenimiento, viable en localidades remotas, y a su fiabilidad.

2.5.2. Bombeo solar fotovoltaico

Un sistema de bombeo solar fotovoltaico trabaja de forma óptima cuando los requerimientos de caudal rondan entre los 150 y los 1500 m³/día. Cuando sea necesario un mayor de caudal, otros sistemas de bombeo serán más competitivos.

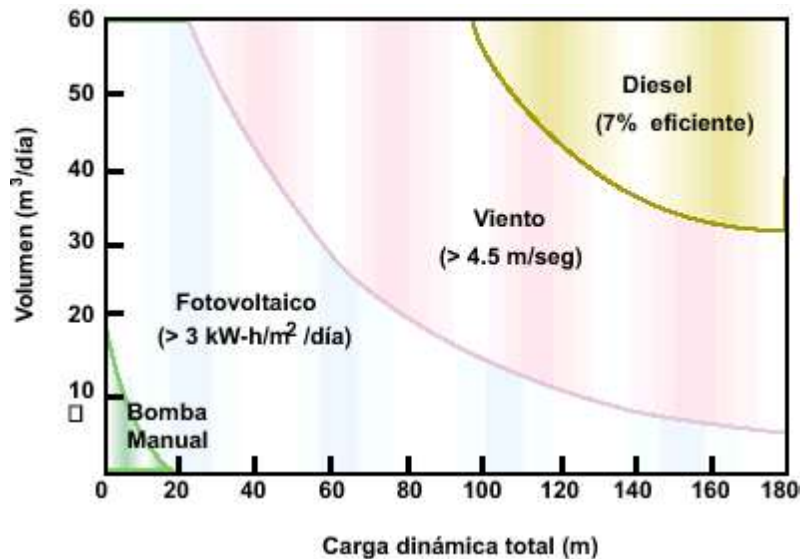


Figura 2. 11. Comparativa entre distintos tipos de bombeo según el caudal diario y la profundidad de bombeo (se han considerado datos de insolación de 3 kWh/m² y velocidad media del viento de 4,5 m/s).

Fuente: [24]

Las dos principales aplicaciones por las que son usadas los sistemas de bombeo solar fotovoltaico son:

- Suministro en zonas rurales.
- Riego agrícola.

Este trabajo va a centrarse en el abastecimiento a zonas rurales en países donde hay escasez de agua, sin contar con grandes requerimientos de caudal.

2.5.3. Componentes de los sistemas de bombeo solar fotovoltaico

- Panel solar o generador: encargado de transformar la energía solar en electricidad. Está formado por un conjunto de células fotovoltaicas conectadas eléctricamente, encapsuladas y montadas sobre una estructura de soporte. El tipo de energía que

proporciona en su salida es de corriente continua, y se diseña para valores concretos de tensión (6V, 12V, 24V), que definirán la tensión a la que trabaja el sistema fotovoltaico.

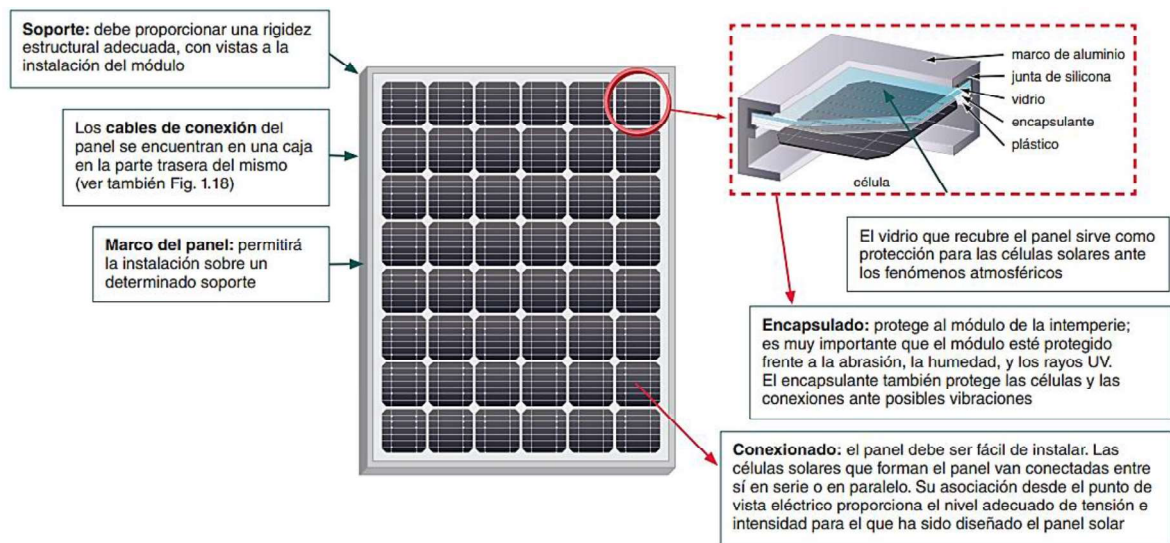


Figura 2. 12. Constitución de un panel solar. Se destacan sus principales características. Fuente: [26]

➤ **Bomba eléctrica:** elemento encargado de tomar el agua del pozo e impulsarla hasta el lugar requerido. Existen diferentes tipos de bombas, a continuación, vamos a clasificarlas en tres tipos, según la trayectoria del flujo:

- Bomba centrífuga: el flujo es fundamentalmente radial, las trayectorias de las partículas fluidas están contenidas en planos perpendiculares al eje.
- Bomba axial: el flujo es axial, con las trayectorias de las partículas fluidas contenidas en superficies de revolución paralelas al eje.
- Bomba mixta o heliocentrífuga: las trayectorias de las partículas fluidas están contenidas en superficies de revolución no cilíndricas. Se acercan o alejan del eje a la vez que tienen un componente axial de velocidad importante.

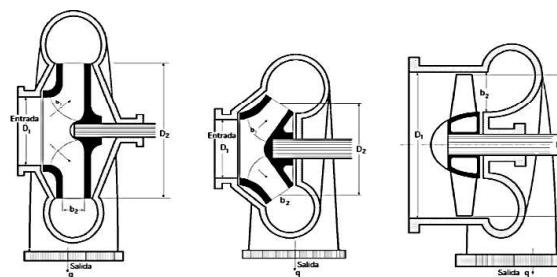


Figura 2. 13. Esquema diferentes tipos de bombas. Primera imagen: bomba centrífuga; segunda: bomba mixta o heliocentrífuga; tercer: bomba axial. Fuente: [23]

Según el tipo de bomba, podrá ser alimentada directamente mediante los paneles, si esta trabaja a corriente continua, o tendrá que ser necesario un inversor que transforme la corriente continua de salida de los paneles en corriente alterna para la entrada de la bomba.

Dependiendo de los requerimientos del sistema, podemos realizar otra clasificación de las bombas, resumida en la siguiente tabla:

Tipo de bomba	Ventajas	Desventajas
Centrífugas sumergibles	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil disponibilidad - Toleran pequeñas cantidades de arena - Pueden utilizar el agua como lubricante - Motores de CC o de CA - Grandes flujos y grandes cargas dinámicas - Diseño modular 	<ul style="list-style-type: none"> - Rango de eficiencia menor que otros tipos de bomba - No pueden trabajar en seco - Mayor mantenimiento que otros tipos - Sufren gran desgaste si el flujo es corrosivo
Centrífugas de succión	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil disponibilidad - Toleran pequeñas cantidades de arena - Fácil operación y mantenimiento - Motores CC y AC - Grandes flujos 	<ul style="list-style-type: none"> - Rango de eficiencia menor que otros tipos - Gran desgaste si el flujo es corrosivo - Pueden dañarse a temperaturas frías - No trabajan a cargas dinámicas muy grandes
Desplazamiento positivo de pistón	<ul style="list-style-type: none"> - Cargas dinámicas muy grandes - Producción ajustable gracias a la carrera de pistón 	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento continuo - No toleran arenas ni sedimentos - No bombean grandes caudales
Diafragma	<ul style="list-style-type: none"> - Cargas dinámicas relativamente altas - Muy económicas 	<ul style="list-style-type: none"> - No toleran arenas ni sedimentos - No bombean grandes caudales

Tabla 2. 4. Comparativa distintos tipos de bomba según requerimientos de instalación. Fuente: [25]

- Sistemas de acondicionamiento de potencia: permiten obtener el máximo rendimiento y un mejor funcionamiento del generador con el conjunto moto-bomba. Conviene operar en el punto de máxima potencia del generador (MPPT), que varía con las variaciones de carga o con la intensidad luminosa, para lo que se utiliza un seguidor de máxima potencia MPPT. Podemos distinguir tres tipos: [23]
 - Convertidor CC-CC: recibe la corriente continua y va variando la tensión y la intensidad mientras sigue trabajando en corriente continua. El objetivo es encontrar el punto de máxima potencia PMP según las condiciones climatológicas.
 - Convertidor CC-AC o inversor: elemento necesario cuando se trabaja con bombas de corriente alterna, pues la corriente de salida de los módulos es continua. Mantienen la tensión y la frecuencia en un valor constante, y según el tipo de motor, su salida podrá ser trifásica o monofásica.
 - Convertidor de frecuencia: similar al funcionamiento de un inversor, pero permitiendo una modificación en la frecuencia mediante la variación de la velocidad de trabajo del motor. Esto se traduciría en un mayor rendimiento del sistema, ya que al aumentar la velocidad se puede aumentar el caudal reduciendo la potencia del motor. La desventaja de este tipo de elemento es su elevado coste si lo comparamos con el inversor simple. Además, están diseñados para tensiones constantes de entrada, que no sería el caso del generador fotovoltaico, dependiente de las condiciones de irradiancia y temperatura.
- Sistemas de acumulación: elemento necesario en un sistema de bombeo fotovoltaico debido a la naturaleza del Sol. Existen dos tipos de sistemas:
 - Baterías: sistema utilizado cuando la demanda eléctrica es necesaria durante todo el día y no solo cuando hay disponibilidad de radiación solar. Son idóneos para aplicaciones de uso ocasional o rural, donde el bombeo solar es un complemento a otro tipo de suministros eléctricos. La principal desventaja de este elemento es el coste, así como el aumento de mantenimiento del sistema. La principal ventaja es que actúa como sistema de acondicionamiento entre el generador y el conjunto moto-bomba, evitando variaciones de tensión.

- Depósitos de agua: método idóneo en aplicaciones de riego solar o en instalaciones como la nuestra, que con un correcto dimensionado es posible bombear la cantidad suficiente de agua durante las horas de radiación solar disponibles. Los depósitos de agua se encuentran situados normalmente a una altura mayor que la zona de suministro, obteniendo así una mayor presión para su uso. Las grandes desventajas de estos elementos son la cantidad de espacio que ocupan, así como que la energía acumulada no es en forma de electricidad. Eso sí, existen en la actualidad diferentes tipos de depósitos dependiendo de la aplicación de la instalación a precios mucho más económicos que las baterías.

3. ENTORNO SOCIOECONÓMICO DE ÁFRICA

Históricamente, las lluvias han sido escasas en el continente africano durante todo el año, por lo que, los habitantes de esta región suelen padecer largos y continuados episodios de sequía. A esto hay que añadirle que el cambio climático está agravando aún más la situación, ya que está contribuyendo a la evaporación de grandes cantidades de agua en los lagos y ríos, así como está favoreciendo los incendios.

Además, en este continente la desventaja por falta de infraestructuras, así como la alta contaminación de las fuentes de agua no hacen más que empeorar la situación.

Nos encontramos así ante una realidad desoladora en el continente, donde conseguir agua potable y limpia se ha convertido en un reto diario para muchos de sus habitantes.

La falta de alimentos que deriva de la sequía incide gravemente en la economía de estos países, cuyos gobiernos se ven obligados a importar gran parte de los productos básicos de consumo, aumentando su deuda externa. Todo esto supone un importante freno al desarrollo social y económico de la región, que ya de por sí ha venido siendo débil.

Las grandes cantidades de agua subterránea sobre las que descansa el continente africano.

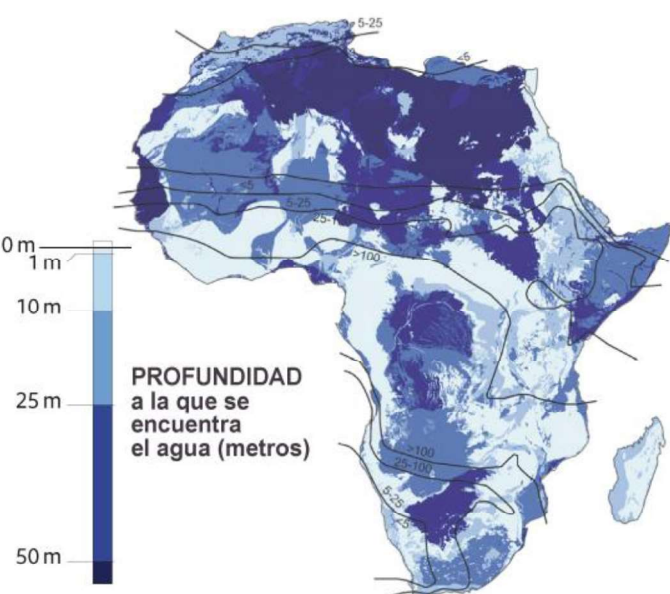


Figura 3. 1. Reservas de agua en el subsuelo de África y su profundidad. Fuente: [22]

Según un estudio realizado por un equipo del British Geological Survey, se calcula que en el subsuelo del continente se encuentran 660.000 kilómetros cúbicos de agua, 100 veces la cantidad superficial de todo el continente, mientras que, en la superficie, aproximadamente el 40% de la población sufre la escasez de este bien. [22]

De esta forma, el continente africano se presenta como una gran opción para aplicar la finalidad de este proyecto, es decir, para poder construir pozos mediante bombeo solar fotovoltaico que puedan ser aprovechados por pequeñas comunidades.

3.1. ETIOPÍA

Etiopía es un país situado en el interior del Cuerno de África, es el segundo país más poblado del mundo. Con una extensión de 1128 km² es el cuarto país en extensión del África Subsahariana y el décimo entre todo el continente. [27]

Etiopía cuenta con una amplia variedad de zonas climáticas, desde climas tropicales hasta climas áridos. El país cuenta con grandes cantidades de recursos hídricos, se estima que el agua disponible es de 2600 millones de metros cúbicos, sin embargo, su utilización es insignificante, ya que apenas se utilizan el 2,5% de estos recursos, y su utilización para la vida doméstica es insignificante. [27]

La economía de este país está basada en la agricultura, absorbiendo esta un 45% del Producto Interior Bruto, a pesar de que los procesos de sequía hayan convertido grandes extensiones de terreno cultivable en zonas áridas o semiáridas. El cultivo principal es el café, pero la caída del precio internacional está alentando otros cultivos como el chat (una planta cuyas propiedades psico-estimulantes son muy llamativas). Ahora bien, como este sector es muy dependiente de las lluvias, ya que solo el 2,5% de la superficie del país está irrigada, la capacidad de este sector de alimentar a la población es limitada. [27]

En la actualidad, Etiopía requiere de un alto nivel de dependencia del sector energético, así como de elevados gastos militares, por lo que mantiene su economía en un estado de debilidad, dependiente en gran parte de ayuda extranjera. Por ello, se está desarrollando un plan económico basado en el aumento del uso de la energía

hidroeléctrica, la recuperación de zonas agrícolas, la diversificación de las actividades económicas y la explotación del gas natural. [27]

Se suma a la situación económica, los datos respecto a educación y salud. A continuación, se inserta una tabla con algunos datos sobre educación y salud en Etiopía y en España.

ETIOPÍA	ESPAÑA
EDUCACIÓN	
Alfabetismo adulto: 42 % (2000-2004)	
Matriculación neta en enseñanza primaria: 46 % (2004)	Matriculación neta en enseñanza primaria: 100 % (2003)
Matriculación neta en enseñanza secundaria: 25 % (2004)	Matriculación neta en enseñanza secundaria: 95 % (2003)
Matriculación bruta en enseñanza terciaria: 3 % (2004)	Matriculación bruta en enseñanza terciaria: 64 % (2003)
Número de niños por maestro, primaria: 65 (2004)	Número de niños por maestro, primaria: 14 (2003)
SALUD	
Esperanza de vida al nacer: 49 años (2005-2010)	Esperanza de vida al nacer: 80 años (2005-2010)
Tasa global de fecundidad: 5,4 hijos por mujer (2005-2010)	Tasa global de fecundidad: 1,3 hijos por mujer (2005-2010)
Tasa bruta de natalidad: 39 nacimientos por cada 1000 habitantes (2005-2010)	Tasa bruta de natalidad: 11 nacimientos por cada 1000 habitantes (2005-2010)
Tasa bruta de mortalidad: 15 muertes por cada 1000 habitantes (2005-2010)	Tasa bruta de mortalidad: 9 muertes por cada 1000 habitantes (2005-2010)
Mortalidad materna: 850 cada 100.000 nacidos vivos (2000)	Mortalidad materna: 4 cada 100.000 nacidos vivos (2000)
Mortalidad en niños menores de 1 año: 110 cada 1.000 nacidos vivos (2004)	Mortalidad en niños menores de 1 año: 3 cada 1.000 nacidos vivos (2004)
Mortalidad en niños menores de 5 año: 166 cada 1.000 nacidos vivos (2004)	Mortalidad en niños menores de 5 año: 5 cada 1.000 nacidos vivos (2004)
Partos atendidos por personal calificado: 6 % (1996-2004)	

Tabla 3. 1. Comparativa entre datos de educación y salud Etiopía-España. Fuente: [27]

Respecto al porcentaje de población que dispone de un acceso a agua adecuado tal como se ha definido en el primer capítulo de este proyecto, los datos son desoladores: [18]

- Tan solo un 22% del total de la población del país cuenta con un acceso adecuado a este recurso.
 - De la población rural, tan solo el 11% de la población accede de forma correcta a este recurso.
 - De la población urbana, la cifra asciende al 81%.

Además, Etiopía se encuentra entre los 8 primeros puestos de Hambre y Desnutrición en el Índice Global del Hambre (GHI), desde 1990. [18]

Etiopía es un país dividido en regiones, siendo la región de Afar la elegida para este estudio.

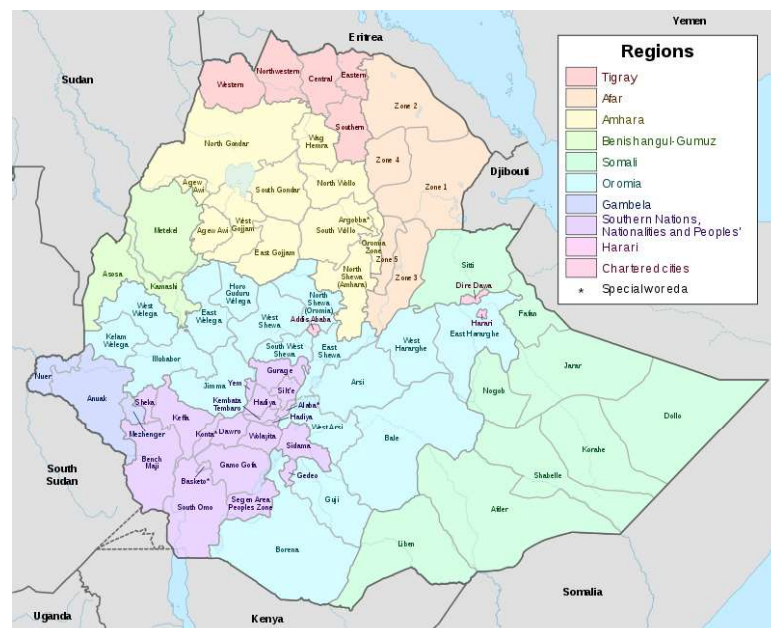


Figura 3. 2. Mapa de las regiones y zonas de Etiopía. Fuente: [28]



Figura 3. 3. Región de Afar. Fuente: [29]

La región de Afar tiene una extensión de 100.086 km² y una población total aproximada de un millón y medio de habitantes. Situada al noreste del país, es una de las regiones más pobres de Etiopía y del mundo. [29]

Geográficamente se encuentra en la depresión de Afar, que ocupa parte de Eritrea, Yibuti y Etiopía, en el denominado valle del Rift. El clima en la zona es muy extremo, con una temperatura media en la época de lluvias de 25°C (de junio a septiembre), y el resto de año llegando a los 40°C o 45°C, con fuertes periodos de sequía. [29]

El pueblo Afar se ve obligado a llevar un modo de vida nómada debido a la falta de agua potable y alimentos, buscando pastos para su ganado, que es casi su único medio de vida. Además, mujeres y niñas se ven obligadas a recorrer grandes distancias por el desierto para obtener agua, siendo muy comunes los fallecimientos por deshidratación y desnutrición. [30]

Así, tras investigar las diferentes zonas de Etiopía, se ha llegado a la conclusión de que la aplicación de un proyecto como este es especialmente importante en esta zona, mejorando el estado de salud de toda la población.

La localidad de Abala es el centro administrativo de la llamada Zona 2 de la Región y cuenta con una población aproximada de 4.800 personas. La principal fuente de sustento de la localidad es la ganadería de cabras. [31]



Figura 3. 4. Ubicación satélite de Abala. Fuente: [20]

Abala se convierte en la localidad elegida para la implantación de la instalación de bombeo fotovoltaico por todos los motivos explicados en este punto, así como porque en el momento de realización de este proyecto no se tiene constancia de ninguna instalación parecida en la zona que pueda mejorar de manera notable el día a día de sus habitantes.



Figura 3. 5. Localidad de Abala, Etiopía. Fuente: [31]

Este proyecto pretende satisfacer las necesidades de 200 personas de la localidad, junto a parte del ganado, suponiendo la instalación con pozo un salto cualitativo en el acceso al agua para la población beneficiada.

4. DISEÑO DEL MODELO GENÉRICO

4.1. CONSIDERACIONES PREVIAS

En este apartado se explicarán las consideraciones previas que se han tenido en cuenta para el dimensionado del modelo.

El sistema de bombeo se sitúa en la población de Abala, Etiopía, pero irá destinado a una porción de la población, así como a parte de la agricultura y ganadería de la localidad. Esto se explica más detalladamente en el apartado de ‘Necesidades hídricas’.

Así mismo, se dará por sentado que en el punto elegido existe la posibilidad de perforar un pozo con las condiciones especificadas en el apartado de ‘Altura hídrica’, o bien, que ya existe un pozo con estas condiciones.

A continuación, se adjunta un esquema de la instalación que vamos a dimensionar, así como se exponen algunos detalles la configuración necesarios para los siguientes apartados.

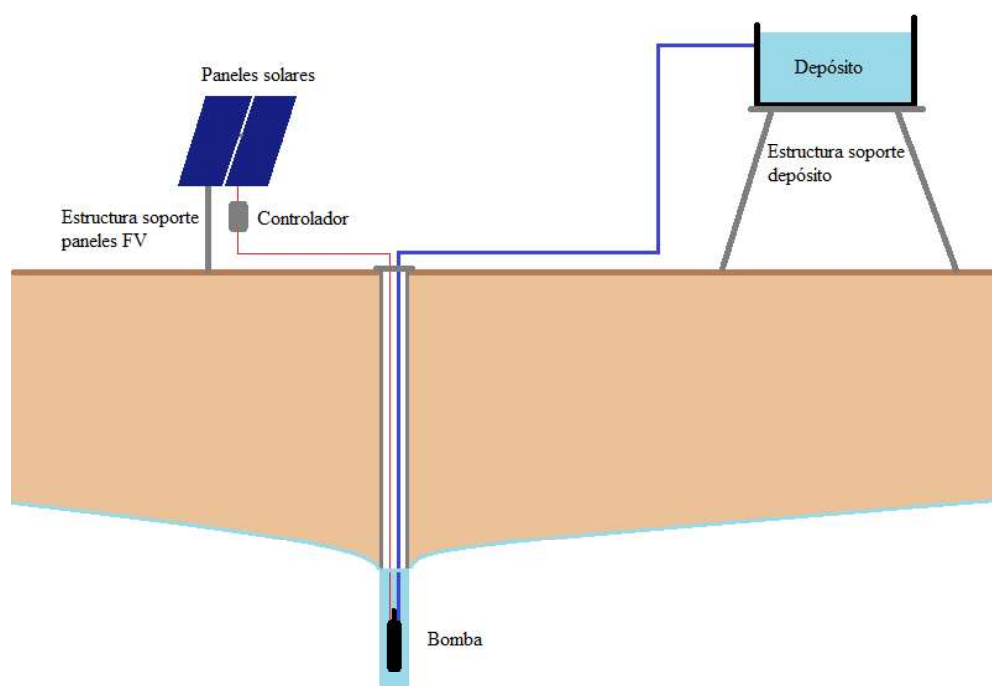


Figura 4. 1. Esquema sistema de bombeo fotovoltaico a depósito a dimensionar. Fuente: [Elaboración propia]

Tomaremos una profundidad de la bomba de 45 metros, situando el depósito a 3 metros sobre el terreno. Así mismo, se establece una longitud de las tuberías desde la

bomba hasta el depósito de 51 metros, observando que se disponen de 3 giros bruscos de 90° en su instalación.

El cable rojo de la figura representa el cableado eléctrico. La parte de corriente continua que va desde los paneles fotovoltaicos hasta el controlador se estimará en una longitud de 7 metros; la parte de corriente alterna desde el controlador hasta la bomba se estimará en una longitud de 46 metros.

4.2. NECESIDADES HÍDRICAS

Basándonos en la tabla de necesidades hídricas, tanto para consumo humano como para ganadería, obtenida del libro “Sistemas Fotovoltaicos” de M. Alonso Abella, se van a calcular las necesidades hídricas de nuestro proyecto. Cabe destacar que el número de personas y animales ha sido estimado, así como el caudal previsto para tierras de cultivo, ya que, como se ha mencionado previamente, el pozo irá destinado a una porción de la población de Abala.

Necesidades consumo humano			
	Nº personas	l/(dpersonas)	Q _d (m³/d)
Personas	200	30	6,000
Necesidades ganadería y agricultura			
	Nº animales	l/(dpersonas)	Q _d (m³/d)
Aves de corral	70	0,10	0,007
Ganado lanar	600	5	3,000
Tierras cultivo	-	-	10,000
Consumo de referencia:			19,007

Tabla 4. 1. Necesidades hídricas de personas, animales y tierras de cultivo. Fuente: [32]

De este modo, se estima un caudal diario de 19,007 m³/día, pero para dejar un margen, marcaremos para el dimensionado de nuestro sistema general un consumo de **20 m³/día**.

4.3. ALTURA HÍDRICA

Para nuestro modelo, tomaremos un pozo situado a 40 metros de profundidad, que cuenta con un depósito a 3 metros sobre la cota del terreno, como se muestra en la siguiente ilustración.

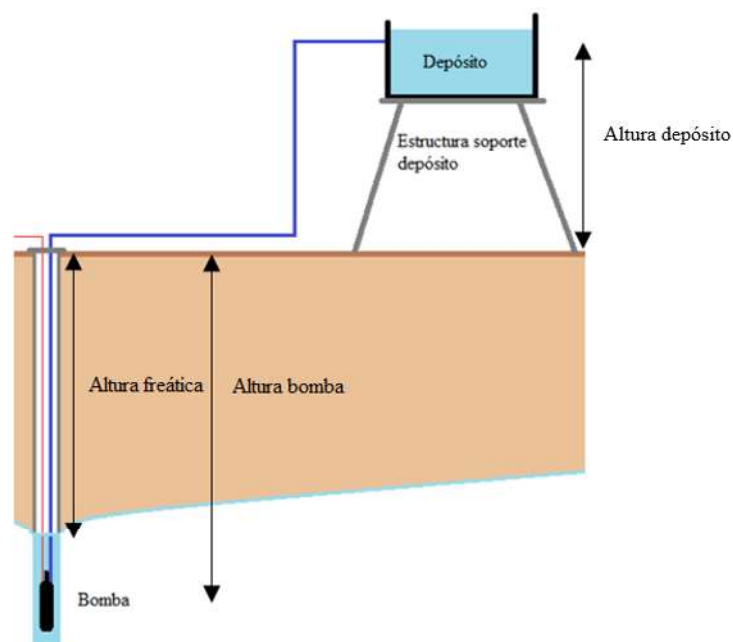


Figura 4. 2. Esquema instalación bombeo solar indicando alturas, [Elaboración propia]

Siendo:

- Altura bomba (H_b) = 45 m.
- Altura freática (H_f) = 40 m.
- Altura depósito (H_d) = 3 m.

Por lo tanto:

➤ Altura estática (H_e):

$$H_e = H_f + H_d = 40 + 3 = 43 [m]$$

Ecuación 4.1. Altura estática del pozo

A este dato le debemos sumar las pérdidas dinámicas ($H_{pérdidas}$), tanto primarias como secundarias. Para realizar los cálculos previos, situaremos estas en un 10% sobre la altura estática del pozo, es decir en 4,3 m (más adelante realizaremos este cálculo adecuadamente).

Obtenemos del siguiente modo la altura total o hidráulica del pozo:

➤ Altura total (H_T):

$$H_T = H_e + H_{pérdidas} = 43 + 4,3 = 47,3 [m]$$

Ecuación 4.1. Altura total o hidráulica del pozo

4.4. ENERGÍA HIDRÁULICA NECESARIA

Hemos supuesto que nuestra instalación ha de satisfacer una altura total de impulsión de 47,3 metros, así como un consumo medio diario de 20 m³/día.

Con estos datos, se procede al cálculo de la energía hidráulica:

$$E_h \left(\frac{Wh}{d} \right) = \rho \left(\frac{kg}{m^3} \right) g \left(\frac{m}{s^2} \right) Q \left(\frac{m^3}{día} \right) h(m) \frac{1}{3600} \left(\frac{h}{s} \right)$$

Ecuación 4.2. Energía hidráulica necesaria

De la cual:

- $E_h (Wh) =$ Energía hidráulica diaria del sistema
- $\rho (kg/m^3) =$ Densidad del agua
- $g (m/s^2) =$ Aceleración gravitatoria terrestre
- $Q (m^3/d) =$ Caudal del fluido (diario)
- $h (m) =$ altura manométrica de impulsión (altura geométrica, más pérdidas de carga primarias y secundarias)

Sustituyendo con los correspondientes datos en la Ecuación 4.2:

$$E_h \left(\frac{Wh}{d} \right) = 1000 \left(\frac{kg}{m^3} \right) 9,81 \left(\frac{m}{s^2} \right) 20 \left(\frac{m^3}{día} \right) 47,3(m) \frac{1}{3600} \left(\frac{h}{s} \right)$$

$$E_h \left(\frac{Wh}{d} \right) = 2577,85 \left(\frac{Wh}{d} \right)$$

4.5. POTENCIA PICO DEL GENERADOR Y CAUDAL PICO DEL SISTEMA

Calculamos la potencia pico del generador fotovoltaico de nuestra instalación con los datos concretos de irradiación en la ubicación exacta de Abala donde situaremos el pozo.

La potencia pico se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$P_p(Wp) = \frac{E_h \left(\frac{Wh}{d} \right) G_{STC} \left(\frac{W}{m^2} \right)}{\eta_{mb} F_m F_t G_d}$$

Ecuación 4.3. Potencia pico del generador

Dónde:

- $P_p(Wp)$ = Potencia necesaria para desarrollar la energía hidráulica calculada
- $E_h(Wh/d)$ = Energía hidráulica media del sistema (calculada anteriormente)
- $G(kWh/m^2d)$ = Irradiación media mensual diaria sobre el plano FV, mirando al sur (hemisferio norte), e inclinada según el ángulo óptimo, en el mes de crítico para la localización seleccionada
- η_{mb} = rendimiento medio diario del conjunto motobomba, este valor suele rondar el 40 %, es decir 0,4 .
- F_m = Factor de acoplo medio o cociente entre la energía generada entre las condiciones de operación y la que se genera trabajando en PMP. Para nuestra bomba, de tipo centrífuga y con seguimiento de máxima potencia, este valor ronda el 0,95.
- $F_t(1/°C)$ = Factor de corrección de temperatura. Calculado con la siguiente expresión:

$$F_t \left(\frac{1}{^{\circ}C} \right) = 1 - \delta(T_c - 25) = 1 - \gamma(T_c - 25)$$

Ecuación 4.4. Factor de corrección de temperatura para ecuación de potencia pico

Siendo:

- $T_c (^{\circ}C)$ = Temperatura de la celda fotovoltaica (no se coge una temperatura de 40° ya que estamos dimensionando en un mes cálido). Se toman 70°C.
- $\delta \left(\frac{1}{^{\circ}C} \right) = \gamma \left(\frac{1}{^{\circ}C} \right) = 0,005 \left(\frac{1}{^{\circ}C} \right)$, valor correspondiente a módulos de silicio cristalino.

Sustituyendo en la ecuación 4.4:

$$F_t \left(\frac{1}{^{\circ}C} \right) = 1 - 0,005(70 - 25) = 0,775 \left(\frac{1}{^{\circ}C} \right)$$

Para obtener los datos de irradiación media mensual introducimos las coordenadas del lugar elegido en el programa PvGis. Las coordenadas concretas en Abala son las siguientes:

- Latitud norte: 13,352060
- Longitud este: 39,759336



Figura 4. 3. Vista aérea de localización exacta para la ubicación del pozo en Abala, Etiopía. Fuente: [20]

Para esta localización, nos encontramos con los siguientes datos de irradiación solar obtenidos del programa Pvgis:

Monthly Solar Irradiation

PVGIS Estimates of long-term monthly averages

Location: 13°21'7" North, 39°45'33" East, Elevation: 1448 m a.s.l.,

Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Optimal inclination angle is: 16 degrees
Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.4 %

Month	H_h	H_{opt}	$H(16)$	I_{opt}
Jan	5310	6140	6140	41
Feb	6340	7020	7020	32
Mar	7150	7410	7410	17
Apr	6990	6790	6790	0
May	7170	6600	6600	-14
Jun	6180	5600	5600	-20
Jul	5340	4940	4940	-17
Aug	5530	5290	5290	-6
Sep	6360	6430	6430	11
Oct	6720	7260	7260	27
Nov	6040	6950	6950	39
Dec	5590	6620	6620	44
Year	6230	6420	6420	16

H_h : Irradiation on horizontal plane (Wh/m²/day)
 H_{opt} : Irradiation on optimally inclined plane (Wh/m²/day)
 $H(16)$: Irradiation on plane at angle: 16deg. (Wh/m²/day)
 I_{opt} : Optimal inclination (deg.)

Figura 4. 4. Datos de irradiación para la localización exacta de pozo en Abala, Etiopía. Fuente: [19]

Observamos datos de irradiación sobre el plano horizontal, sobre el ángulo óptimo calculado por el programa (16°) y sobre el ángulo óptimo estimado con la fórmula explicada en el apartado ‘2.3. Radiación Solar’ para aplicación de electricidad mediante módulos fotovoltaicos ($\beta_{opt}=\phi+10^\circ$), que resulta ser el mismo ángulo que el calculado por el programa. Realizaremos nuestros cálculos por lo tanto para el ángulo óptimo de 16°

A primera vista, el mes crítico parece ser julio, pues tiene las condiciones de irradiación más bajas (4940 Wh/m²/día), ahora bien, observemos los datos climatológicos en esta localización:



Figura 4. 5. Datos de temperatura y precipitaciones para Abala (Etiopía). Fuente: [21]

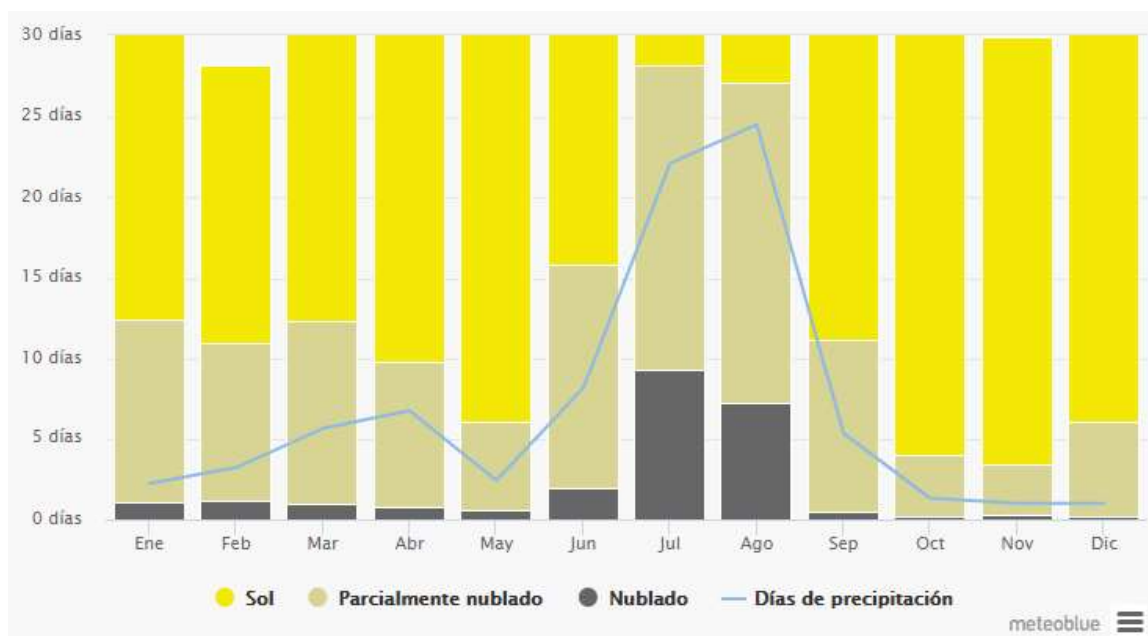


Figura 4. 6. Cielo nublado, sol y días de precipitaciones en Abala (Etiopía). Fuente: [21]

Los datos que más interesan aparecen sintetizados en la siguiente tabla:

Mes	Días de Sol	Días de precipitaciones	Temperatura máxima diaria [°C]
Enero	18,6	2,2	24
Febrero	17,2	3,2	26
Marzo	18,7	5,6	28
Abril	20,2	6,7	29
Mayo	25	2,4	31
Junio	14,2	8,1	32
Julio	2,8	22,1	30
Agosto	3,9	24,5	29
Septiembre	18,8	5,3	31
Octubre	27	1,3	28
Noviembre	26,5	1	26
Diciembre	25	1	25

Tabla 4. 2. Tabla resumen de datos de días de sol, días de precipitaciones y temperatura máxima obtenidos de ‘meteoblue’ en Abala (Etiopía). Fuente: [Elaboración propia]

Como vemos, el mes que inicialmente tomaríamos como crítico presenta gran cantidad de precipitaciones, por lo que las necesidades hídricas de este mes no serían tan grandes como las calculadas.

Tomamos por lo tanto como mes crítico junio, puesto que cuenta con unos datos de radiación de 5600 Wh/m²/día, sigue siendo un mes bastante nublado, pero no es un mes que destaque por sus precipitaciones, por lo que las necesidades hídricas serán más parecidas a las estimadas.

Por lo tanto, habiendo elegido este mes crítico para el cálculo de la potencia pico del generador, procedemos a sustituir los datos en la ecuación 4.3:

$$P_p(Wp) = \frac{2577,85(\frac{Wh}{d})}{0,4} \frac{1000(\frac{W}{m^2})}{0,95 \cdot 0,775 \cdot 5600 \frac{Wh}{m^2 d}}$$

$$P_p = 1563,091 (Wp)$$

El caudal pico de la instalación puede ser calculado mediante la siguiente fórmula una vez obtenido el dato de potencia pico. La bomba seleccionada tiene que ser capaz de proporcionar este caudal.

$$Q_p \left(\frac{m^3}{h} \right) = \frac{P_p(Wp)}{\rho \left(\frac{kg}{m^3} \right) g \left(\frac{m}{s^2} \right) h(m)} \frac{1}{3600}$$

Ecuación 4.5. Caudal pico de la instalación

Sustituyendo los datos correspondientes en la Ecuación 4.5 obtenemos:

$$Q_p \left(\frac{m^3}{h} \right) = \frac{1563,091(Wp)}{1 \left(\frac{kg}{m^3} \right) 9,81 \left(\frac{m}{s^2} \right) 47,3(m)} \frac{1}{3600}$$

$$Q_p = 5.457 \left(\frac{m^3}{h} \right)$$

4.6. SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES

4.6.1. Bomba

Con los datos de caudal, altura total y potencia pico, podemos seleccionar la bomba. Elegiremos la marca Grundfos, y de esta, la gama de bombas sumergibles SP. Esta marca cuenta con un programa on-line, que, introduciendo los datos correspondientes a las necesidades de cada instalación, selecciona las bombas que mejor se adaptan.

Para este programa es necesario introducir el dato de caudal en m³/h, por lo que estimaremos que el caudal de 20 m³/día necesario se obtiene durante 4 horas de sol diarias, lo que da un total de 5 m³/h.

Quedarían los datos introducidos en el programa de la siguiente manera (vemos que también se ha introducido el dato de potencia pico):

Líquido bombeado	<input checked="" type="radio"/> Agua	<input type="radio"/> Emulsión	<input type="radio"/> Cualquier líquido viscoso
Temperatura del líquido en trabajo	20 °C		
Caudal (Q)	5	m³/h	▼
Altura (H)	47.3	m	▼
Tipo de bomba	▼		
Producto	▼		
Estado ErP	Prod. independiente (directiva EuP)		
Se suministra con motor	Completo		
Fase	3		
Tensión		V	
P2	1.9	kW	▼

Figura 4. 7. Datos de caudal, altura y potencia pico introducidos en el programa on-line de Grundfos para bombas sumergibles SP. Fuente: [33]

La solución que mejor se adapta a las necesidades de la instalación entre las ofrecidas por el programa es la bomba **SP 9-10**.

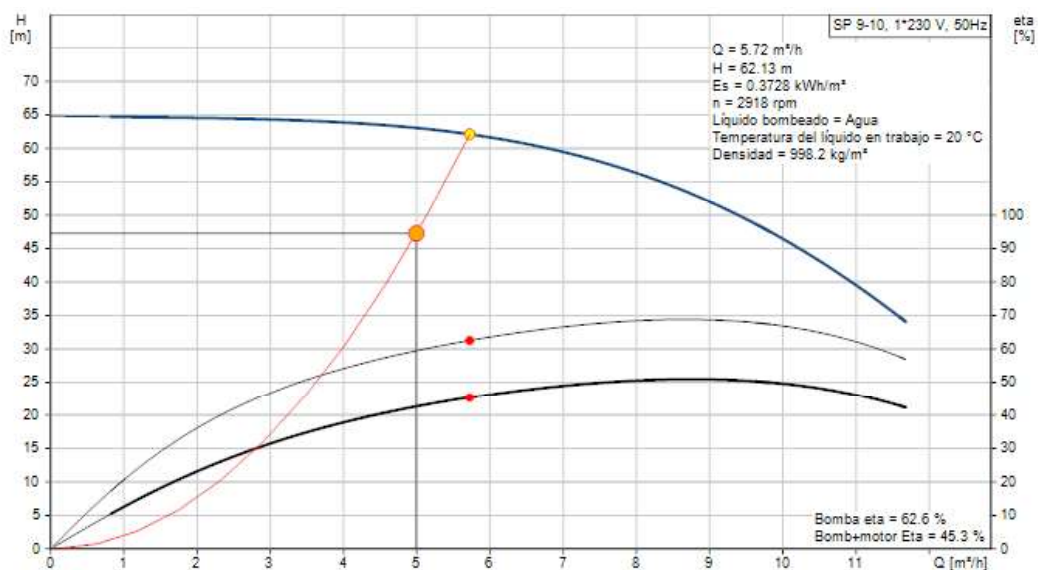


Figura 4. 8. Curva altura vs caudal de la bomba SP 9 -10. Fuente: [33]

Esta bomba cumple con los requisitos de nuestra instalación. A continuación, destacaremos sus características más relevantes:

- Caudal real calculado = 5,72 m³/h
- Altura resultante de la bomba = 63,13m

- Potencia nominal (P_2) = 2,2 kW
- Tensión nominal = 1 x 220-230 V
- Corriente nominal = 14,6-15 A
- Rendimiento conjunto moto-bomba = 42,3 %
- Rendimiento bomba = 62,6 %

Como se puede observar, el caudal real calculado es mayor que el caudal pico estimado, la altura resultante de la bomba también es mayor que la de nuestra instalación, así como la potencia nominal supera a la potencia pico.

Esta bomba de la gama SP es una bomba de agotamiento sumergible, apta para el bombeo de agua limpia, cuyo motor MS4000 de 2,2 kW dispone de protección contra arena.

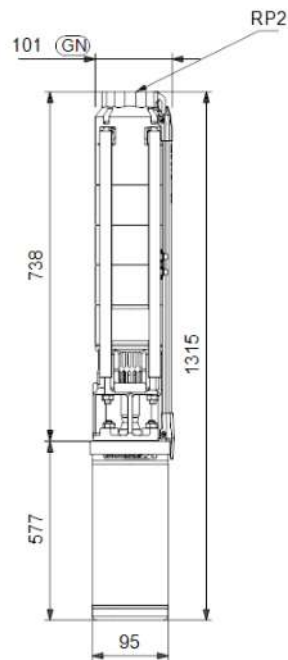


Figura 4. 9. Esquema dimensional de la bomba SP 9 -10. Fuente: [33]

4.6.2. Sistema de acondicionamiento

En este caso se ha optado por instalar un inversor de corriente continua a corriente alterna. Se ha seleccionado un inversor de la marca Tekno Solar, modelo concreto, INVT BPD 2200W.



Figura 4. 10. Imagen del inversor seleccionado INVT BPD 2200W. Fuente: [34]

Este inversor MPPT soporta el control de bombas monofásicas con condensador o sin él, y trifásicas de 230 V.

	BPD0K7TN	BPD1K5TN	BPD2K2TN	BPD0K7TNAC	BPD1K5TNAC	BPD2K2TNAC
Input (DC)						
Max DC Voltage (V)	300	450		300	450	
Starting voltage (V)	80	100		80	100	
Minimum working voltage (V)	60	80		60	80	
MPPT Operating Voltage Range (V)	80-250	120-400		80-250	120-400	
Number of MPPT/String	Single :MC4					
Max. DC Current(A)	9	12	12	9	12	12
Bypass input (AC)						
Input voltage (VAC)		NO		220/230/240(1PH)-15%+10%		
Input frequency (Hz)		NO		47-63		
Input connect method (AC)		NO		1P2L		
Output(AC)						
Rated power(W)	750	1500	2200	750	1500	2200

Figura 4. 11. Parte de la ficha técnica del inversor INVT BPD 2200 W. Fuente: [34]

4.6.3. Generador fotovoltaico

El módulo seleccionado para nuestra instalación es de silicio policristalino, de la marca Canadian Solar, concretamente el modelo **CS6K – 145P**, cuyas características en condiciones presentamos a continuación:

ELECTRICAL DATA | STC*

Electrical Data CS6C	145P	150P
Nominal Max. Power (Pmax)	145 W	150 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	17.9 V	18.1 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.09 A	8.30 A
Open Circuit Voltage (Voc)	22.2 V	22.3 V
Short Circuit Current (Isc)	8.65 A	8.87 A
Module Efficiency	14.66%	15.17%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C	
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)	
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC61730)	
Max. Series Fuse Rating	15 A	
Application Classification	Class A	
Power Tolerance	± 3 %	

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA | NOCT*

Electrical Data CS6C	145P	150P
Nominal Max. Power (Pmax)	105 W	109 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	16.3 V	16.5 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.44 A	6.59 A
Open Circuit Voltage (Voc)	20.4 V	20.5 V
Short Circuit Current (Isc)	7.01 A	7.19 A

MODULE | MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	36 (4 x 9)
Dimensions	1485 x 666 x 40mm (58.4 x 26.2x1.57in)
Weight	12 kg (26.5 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-BOX	IP67, 2 diodes
Cable	4 mm ² (IEC) or 4 mm ² & 12 AWG 1000 V (UL), 950 mm (37.4 in)
Connectors	MC4 or MC4 comparable
Stand. Packaging	36 pcs
Module Pieces per Container	792 pcs (40')

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.43% / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.34% / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.065% / °C
Nominal Operating Cell Temperature	45±2°C

Figura 4. 12. Características técnicas módulo fotovoltaico CS6K – 145P. Fuente: [35]

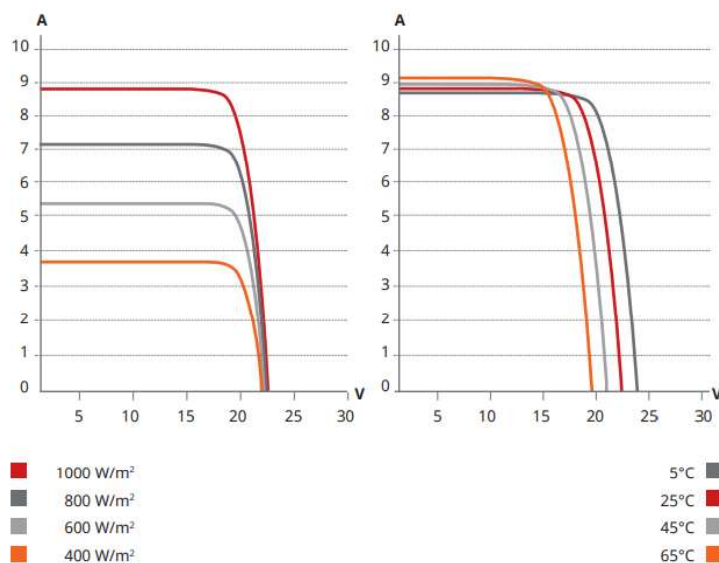


Figura 4. 13. Curvas I-V para modelo CS6K-150P (similar al seleccionado). Fuente: [35]

Una vez elegido el modelo, procederemos a elegir la configuración del generador fotovoltaico:

- Número mínimo de módulos conectados en serie: se calcula este número para garantizar que la tensión no caiga por debajo de la mínima que necesita el acondicionador de potencia, es decir, el inversor seleccionado, a 70°C. En este caso

dicha tensión es de 80 V (dato obtenido de la ficha técnica del inversor, aparece en la figura 28).

$$\min(N_{mS}) = \text{Int} \left[\frac{V_{inv,min}}{V_{Mód,m,(Tc=70^{\circ}C)}} \right] + 1$$

Ecuación 4.6. Número mínimo de paneles conectados en serie

$$V_{Mód,m,(Tc=70^{\circ}C)} = V_{Mód,m,STC} + 65^{\circ}C \beta_{Mód,Voc}$$

Ecuación 4.7. Voltaje máximo del módulo a potencia máxima y a una temperatura de 70°C

$$\beta_{Mód,Voc} = (\text{Temperature coefficient } Voc) \frac{V_{OC}}{100}$$

Ecuación 4.8. Coeficiente de temperatura según la tensión de circuito abierto

Siendo:

- $\text{Int} [x] =$ Parte entera del valor x.
- $V_{Mod,m,(Tc=70^{\circ}C)} [V] =$ Tensión del módulo a potencia máxima y a 70°C.
- $V_{inv,min} [V] =$ Tensión mínima del inversor (80 [V]).
- $V_{Mod,m,STC} [V] =$ Tensión del módulo a potencia máxima y condiciones STC (16,3 [V], obtenido de la ficha técnica de la figura 29).
- $V_{OC} [V] =$ Voltaje de circuito abierto en condiciones STC (22,2 [V])
- $\beta_{Mód,Voc} [V/^{\circ}C] =$ Coeficiente de temperatura de V_{OC} .

Sustituyendo los datos obtenemos en las Ecuaciones 4.6, 4.7 y 4.8:

$$\beta_{Mód,Voc} = -0.34 \frac{22,2}{100} = -0.07548 [V/^{\circ}C]$$

$$V_{Mód,m,(Tc=70^{\circ}C)} = 16,3 + 65^{\circ}C(-0.07548) = 15,9226[V]$$

$$\min(N_{mS}) = \text{Int} \left[\frac{80}{15,9226} \right] + 1 = 6$$

Por lo tanto, el número mínimo de módulos conectados en serie es de 6.

- Número máximo de módulos conectados en serie: se calcula para garantizar que no se sobrepase la tensión más alta que puede soportar el inversor, en este caso de 450 V (figura 28), cuando el módulo se encuentra a -10°C a circuito abierto.

$$\max(N_{ms}) = \text{Int} \left[\frac{V_{inv,max}}{V_{Mód,m,(T_c=-10^\circ C)}} \right]$$

Ecuación 4.9. Número máximo de paneles conectados en serie

$$V_{Mód,m,(T_c=-10^\circ C)} = V_{Mód,OC,STC} - 19^\circ C \beta_{Mód,Voc}$$

Ecuación 4.10. Tensión máxima del módulo en circuito abierto y a -10°

Siendo:

- Int [x] = Parte entera del valor x.
- $V_{Mod,OC,(T_c=-10^\circ C)} [V]$ = Tensión del módulo en circuito abierto y a -10°C.
- $V_{inv,max} [V]$ = Tensión máxima del inversor (450 [V])
- $V_{Mod,m,STC} [V]$ = Tensión del módulo a potencia máxima y condiciones STC (22,2 [V], obtenido de la ficha técnica de la figura 29).
- $V_{Mod,OC,STC} [V]$ = Voltaje de circuito abierto en condiciones STC (22,2 V)
- $\beta_{Mód,Voc} [V/^\circ C]$ = Coeficiente de temperatura de V_{OC} (obtenido en el apartado anterior).

Sustituyendo los datos obtenemos en las Ecuaciones 4.9 y 4.10:

$$V_{Mód,m,(T_c=70^\circ C)} = 22,2 - 19^\circ C(-0.07548) = 23,6341[V]$$

$$\max(N_{ms}) = \text{Int} \left[\frac{450}{23,6341} \right] = 20$$

Por lo tanto, el número máximo de módulos conectados en serie es de 20.

- Número de módulos conectados en paralelo: se deben asegurar en este apartado los 14,6-15 [A] que precisa el motor elegido.

$$N_{mP} = \text{Redondeo} \left[\frac{I_{max,motor}}{I_{max,STC}} \right]$$

Ecuación 4.11. Número mínimo recomendado de paneles conectados en paralelo

Siendo:

- Redondeo [x] = redondear hacia arriba con 0 decimales
- $I_{max,motor}$ [A] = Intensidad máxima del motor.
- $I_{max,STC}$ [A] = Intensidad máxima de los módulos (ficha técnica de la figura 29 - 8,09[V]).

Sustituyendo los datos en la Ecuación 4.11 obtenemos:

$$N_{mP} = \text{Redondeo} \left[\frac{15}{8,09} \right] = 2$$

Por lo tanto, interesa poner un mínimo de 2 módulos en paralelo.

Configuración seleccionada:

Según los cálculos realizados, se ha de elegir entre 6 y 20 módulos conectados en serie, y un mínimo de 2 conectados en paralelo.

Con una configuración 6Sx2P, es decir 6 módulos en serie y 2 en paralelo, obtenemos una potencia pico de 1740 Wp (145Wp x 12 módulos), un valor menor que la potencia pico de la bomba elegida, que es de 2200 W.

Seleccionamos una configuración 6Sx2P de módulos CS6K – 145P, obteniendo una potencia de 1740 Wp.

4.6.4. Tuberías de PVC para presión

Se ha elegido el material de PVC para las tuberías de presión por su relación técnico-económica, además de por su alta durabilidad, inocuidad y reciclabilidad.

Se ha seleccionado el fabricante TUYPER GRUPO, cuyas tuberías de presión de PVC se fabrican de acuerdo con la norma UNE EN ISO 1452 (“Tubos de poli (cloruro de vinilo) no plastificado para conducción de agua a presión”). [36]

Las tuberías de PVC se caracterizan por su: [36]

- Facilidad de montaje.
- Resistencia química.
- Resistencia a la abrasión gracias a su baja rugosidad.
- Resistencia al aplastamiento.
- No toxicidad.
- Impermeabilización.

Primero de todo, calcularemos el diámetro de los tubos, suponiendo una velocidad del fluido de 1 m/s (esta velocidad ha de ser menor de 2,1 m/s en cualquier caso).

$$v[m/s] = \frac{4 Q[m^3/s]}{\pi D_i^2[m]}$$

Ecuación 4.12. Velocidad del fluido en una tubería de sección circular

Despejando el diámetro de la ecuación anterior:

$$D_i[mm] = \sqrt{\frac{353,68 Q[m^3/h]}{v[m/s]}}$$

Sustituyendo por el caudal pico de 5,457 [m³/h], ya que queremos dimensionar para el caso extremo, y por la velocidad estimada de 1 [m/s], obtenemos un diámetro interno de las tuberías de:

$$D_i = 43,93 [mm]$$

Ahora bien, para obtener un diámetro normalizado, acudimos al catálogo del fabricante TUYPER, concretamente a las tablas de tuberías con junta elástica norma francesa para agua potable:

AGUA POTABLE (NF EN 1452)			
PN (Bar)			
Diámetro nominal (mm)	6	10	16
Espesor (mm)			
63			4,7
75			5,6
90		4,3	6,7
110		5,3	8,1
125	3,7	6,0	9,2
140		6,1	9,3
160	4,0	6,2	9,5
200	4,9	7,7	11,9
250		9,6	14,8

Figura 4. 14. Diámetros nominales tuberías de PVC para agua potable TUYPER GRUPO. Fuente: [36]

Para el diámetro nominal de 63 mm y espesor de 4.7 mm tenemos el siguiente diámetro interno normalizado:

$$D_{i,normalizado} = D_{nom,normalizado} - 2Espesor$$

Ecuación 4.13. Obtención del diámetro interior a partir del nominal y el espesor

Sustituyendo:

$$D_{i,normalizado} = 63 - 9.4 = 53,6 \text{ mm}$$

Este diámetro es mayor que el obtenido en los cálculos, por lo que lo damos por válido.

Seleccionamos tuberías para presión de PVC con junta elástica norma francesa para agua potable del fabricante TUYPER GRUPO de 63 mm de diámetro nominal, con un espesor de 4,7 mm.

A su vez, calculamos con estos datos la velocidad a la que circulará el fluido por la tubería, que habíamos estimado en 1 [m/s], sustituyendo los datos obtenidos en la Ecuación 4.12:

$$v \left[\frac{m}{s} \right] = \frac{353,68 Q \left[\frac{m^3}{h} \right]}{D_i^2 [mm]} = \frac{353,68 \times 5,457 \left[\frac{m^3}{h} \right]}{53,6^2 [mm]} = 0,67 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Cálculo de las pérdidas de Darcy

Para realizar el cálculo inicial de la altura hidráulica de bombeo hemos supuesto las pérdidas totales en un 10% de la altura estática.

Ahora, contando con datos reales de la instalación, vamos a realizar este cálculo.

○ Pérdidas Darcy 1ª, en las tuberías:

Los líquidos pierden energía al fluir a través de un tubo debido a la fuerza de fricción que realiza el líquido contra las paredes de la tubería. En nuestro caso, las tuberías son de PVC, y el líquido, agua, fluye a una velocidad media de 0,67 [m/s] con un caudal pico de 5457 [l/h] a través de ellas. El diámetro nominal de estas mismas es el calculado de 63 [mm].

La fórmula utilizada para calcular estas pérdidas es la de Darcy-Weisbach:

$$H_{Pérdidas\ 1ª} = f \frac{L v^2}{D 2 g}$$

Ecuación 4.14. Pérdidas primarias. Fórmula de Darcy-Weisbach

Siendo:

- f = factor de fricción de Darcy
- L [m]=longitud de las tuberías
- v [m/s]=velocidad media del fluido
- D [m] =diámetro interior de las tuberías
- g [m/s²]= aceleración de la gravedad

El factor de fricción de Darcy es un parámetro adimensional que depende del número de Reynolds y de la rugosidad relativa. A continuación, se presenta la ecuación del número de Reynolds para un fluido que circula por el interior de una tubería circular recta.

$$Re = \frac{\rho v D_H}{\mu}$$

Ecuación 4.15. Número de Reynolds

Siendo:

- ρ [kg/m³] = densidad del fluido
- v [m/s] = velocidad del fluido
- D_H [m] = diámetro hidráulico de la tubería

$$D_H = \frac{4 \text{ Area}}{\text{perímetro}}$$

Ecuación 4.16. Diámetro hidráulico tubería

- μ [kg/ms] = viscosidad dinámica del fluido

$$\mu = \rho \nu$$

Ecuación 4.17. Viscosidad dinámica del fluido

- ν [m²/s] = viscosidad cinemática del fluido. Tomaremos la viscosidad cinemática del agua a 20°C = 1,007 x 10⁻⁶ m²/s

Sustituyendo los valores en las Ecuaciones 4.15, 4.16 y 4.17:

$$D_H = \frac{4\pi \frac{D^2}{4}}{\pi D} = D_i = 0,0536 \text{ [m]}$$

$$\mu = 1000 \times 1,007 \times 10^{-6} = 0,001007 \text{ [kg/ms]}$$

$$Re = \frac{1000 \times 0,67 \times 0,0536}{0,001007} = 35662,3635$$

Nos encontramos en condiciones de flujo turbulento ($Re > 4000$), por lo que calculamos el factor de fricción de Darcy mediante la siguiente ecuación para régimen turbulento liso (1ª ecuación de Karmann-Prandtl):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log\left(\frac{2,51}{Re \sqrt{f}}\right)$$

Ecuación 4.18. Factor de fricción de Darcy. 1ª Ecuación de Karmann-Prandtl

Sustituyendo con el número de Reynolds correspondiente obtenemos un factor de fricción de:

$$f = 5,20 \times 10^{-3}$$

Podemos aplicar ya la Ecuación 4.14 de las pérdidas primarias sustituyendo con todos los datos:

$$H_{\text{Pérdidas } 1^{\text{a}}} = 5,20 \times 10^{-3} \frac{51 \times 0,67^2}{0,0536 \times 2 \times 9,81} = 0,1132 \text{ [m]}$$

○ Pérdidas Darcy 2ª, en los accesorios:

Las pérdidas de carga localizadas o pérdidas secundarias son debidas a elementos singulares de la tubería como codos, válvulas, estrechamientos, etc.

Las pérdidas localizadas se expresan de la siguiente forma:

$$H_{\text{Pérdidas } 2^{\text{a}}} = K \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 4.19. Pérdidas de carga secundarias

Siendo:

- K = coeficiente de resistencia determinado de forma empírica para cada tipo de singularidad.
- v [m/s] = velocidad media de fluido, antes o después del punto singular (depende de cada caso).
- g [m/s²] = aceleración de la gravedad.

La tabla que se presenta a continuación muestra algunos valores para el coeficiente K según el tipo de singularidad, y es la tabla en la que nos basaremos para calcular estas pérdidas.

Tipo de singularidad	K
Válvula de retención	2,5
Rejilla entrada	0,8
Válvula de mariposa abierta	0,24
Curva de 90°	0,9
Curva de 45°	0,4
Válvula de pie	3
Controlador de gasto	2,5
Emboque o entrada de la tubería cuadrada	0,5
Entrada de borda o reentrada	1
Entrada abocinada	0,1
Salida de la tubería hacia depósito	1
Ensanchamiento brusco	$(1-(D_1/D_2)^2)^2$
Reducción brusca de sección o contracción	$0,5(1-(D_1/D_2)^2)^2$

Tabla 4. 3. Valores del coeficiente K para algunos elementos singulares. Fuente: [45]

El tramo de tubería cuenta con 3 codos de 90°, con una válvula antirretorno o válvula de pie y un controlador de gasto. Consideremos también aquí las pérdidas de entrada del agua a la bomba como una entrada cuadrada y una rejilla de entrada, y de salida del agua al depósito

Por lo tanto, aplicando la Ecuación 4.19:

$$H_{Pérdidas\ 2^a} = (3 \times 0,9 + 3 + 0,5 + 1 + 0,8 + 2,5) \frac{0,67^2}{2 \times 9,81} = 0,2402 [m]$$

- Pérdidas Darcy 1ª y 2ª, en tuberías y accesorios:

$$H_{Pérdidas\ totales} = H_{Pérdidas\ 1^a} + H_{Pérdidas\ 2^a}$$

Ecuación 4.20. Pérdidas de carga totales

Sustituyendo:

$$H_{\text{Pérdidas totales}} = 0,1132 + 0,2402 = 0,3534 \text{ [m]}$$

Se ha realizado el dimensionado para una altura de pérdidas de 4,3 metros, como se puede ver, mucho mayores de las que obtenemos mediante los cálculos precisos.

4.6.5. Depósito de acumulación

El caudal medio diario anual estimado en nuestro proyecto es de 20 m³/día. Para una capacidad de acumulación de 400 m³ dispondríamos de una autonomía de 20 días.

La empresa de depósitos de agua Tankeros propone diferentes soluciones para esta capacidad. Entre ellas, seleccionamos nuestro tanque a partir de la siguiente tabla:

Medidas y Capacidades de los Tanques Cilíndricos.															
Altura (m):			1,250	1,790	2,438	2,978	3,626	4,166	4,814	5,354	6,002	6,542	7,190	7,730	8,378
Altura Referencia:			01	15	02	25	03	35	04	45	05	55	06	65	07
Ø (m)	Radio (m)	Ø ref.	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
3,048	1,524	04	6	10	15	18	23	27	32	36	41	44	49		
3,810	1,905	05	9	15	23	29	36	42	50	56	63	69	77	83	90
4,572	2,286	06	13	22	33	42	52	61	72	81	91	100	111	120	130
5,334	2,667	07	18	30	44	56	71	83	98	110	124	136	151	163	177
6,096	3,048	08	23	39	58	74	93	108	127	143	162	178	197	212	231
6,858	3,429	09	30	49	73	93	117	137	161	181	205	225	249	269	293
7,620	3,810	10	36	61	91	115	145	169	199	224	253	278	307	332	362
8,382	4,191	11	44	74	110	139	175	205	241	271	306	336	372	402	437
9,144	4,572	12	53	88	131	166	209	244	287	322	365	400	443	478	521
9,906	4,953	13	62	103	153	195	245	286	336	378	428	470	519	561	611
10,668	5,334	14	72	120	178	226	284	332	390	438	496	545	602	651	709
11,430	5,715	15	82	137	204	259	326	381	448	503	570	625	692	747	813
12,192	6,096	16	93	156	232	295	371	434	509	573	648	711	787	850	926

Figura 4. 15. Tabla de medidas y capacidades de los tanques cilíndricos Tankero. Fuente: [37]

De este modo, seleccionamos un tanque de 400 m³ con las siguientes dimensiones:

- Diámetro: 9,144 m
- Altura: 6,542 m

4.6.6. Conductores

Red de continua: cálculo de sección de las ramas desde el generador FV hasta el inversor

En la selección y configuración del generador FV se ha llegado a la conclusión de que se conectarán 2 ramas, con 6 módulos en serie cada una. Esto ocasiona que la intensidad circulante por cada rama sea la misma que la de un solo módulo.

Según la norma UNE 20.460-5-523, al cobre con aislamiento se le llama conductor, pero, además, si lleva cubierta se le denomina cable (tanto unipolar como multipolar). En este proyecto las soluciones serán con aislamiento y cubierta, es decir, cables, aunque sean denominados como conductores. A continuación, se procederá al cálculo de la sección del cable por el método de intensidad admisible y por el método de caída de tensión. Para ello, tendremos en cuenta que según el ‘Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red’ las máximas caídas de tensión de los dispositivos de la instalación son:

- Entre generador y regulador/inversor: 3%
- Entre regulador y batería: 1%
- Entre regulador e inversor: 1%
- Entre inversor/regulador y cargas: 3%

➤ Cálculo de la sección por intensidad admisible de cada rama:

El conductor debe soportar a la temperatura de trabajo el 125% de la intensidad de cortocircuito de la rama (s/IEC 60.364-7-712), en condiciones STC, que, en este caso, coincide con la del módulo:

$$I_{C,rama} = 1,25I_{SC,M,STC} = 1,25 \times 8,09[A] = \mathbf{10,11 [A]}$$

Ecuación 4.21. Intensidad que debe soportar el conductor a la temperatura de trabajo en el tramo de CC

Esta parte de los conductores se encontrará al aire (Cables unipolares en contacto al aire libre – F, con 3 conductores en aislamiento de PVC).

Instalación de referencia			Tabla y columna			
			Intensidad admisible para los circuitos simples			
			Aislamiento PVC		Aislamiento XLPE o EPR	
			Número de conductores			
			2	3	2	3
	Cable multiconductor al aire libre Distancia al muro no inferior a 0,3 veces el diámetro del cable	E	Tabla A.52-1 bis columna 9	Tabla A.52-1 bis columna 7	Tabla A.52-1 bis columna 12	Tabla A.52-1 bis columna 10
	Cables unipolares en contacto al aire libre Distancia al muro no inferior al diámetro del cable	F	Tabla A.52-1 bis columna 10	Tabla A.52-1 bis columna 8	Tabla A.52-1 bis columna 13	Tabla A.52-1 bis columna 11
	Cables unipolares espaciados al aire libre Distancia entre ellos como mínimo el diámetro del cable	G	---	Ver UNE 20460-5-523	----	Ver UNE 20460-5-523

XLPE: Polietileno reticulado (90°C) EPR: Etileno-propileno (90°C) PVC: Policloruro de vinilo (70°C)

Figura 4. 16. Parte de la tabla 52- B1, métodos de instalación de referencia. Fuente: [UNE 20460-5-523:2004]

Método de instalación de la tabla 52-B1	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento											
A1		PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2						
A2	PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2							
B1				PVC3	PVC2		XLPE3		XLPE2			
B2			PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2					
C					PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2		
E						PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2	
F							PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Sección mm ² Cobre												
1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	16,5	19	20	21	24	-
2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	23	26	26,5	29	33	-
4	20	21	23	24	27	30	31	34	36	38	45	-
6	25	27	30	32	36	37	40	44	46	49	57	-
10	34	37	40	44	50	52	54	60	65	68	76	-
16	45	49	54	59	66	70	73	81	87	91	105	-
25	59	64	70	77	84	88	95	103	110	116	123	140
35	-	77	86	96	104	110	119	127	137	144	154	174
50	-	94	103	117	125	133	145	155	167	175	188	210
70	-	-	-	149	160	171	185	199	214	224	244	269
95	-	-	-	180	194	207	224	241	259	271	296	327
120	-	-	-	208	225	240	260	280	301	314	348	380
150	-	-	-	236	260	278	299	322	343	363	404	438
185	-	-	-	268	297	317	341	368	391	415	464	500
240	-	-	-	315	350	374	401	435	468	490	552	590

Figura 4. 17. Parte de la tabla A.52-1 BIS de la norma UNE 20460-5-523:2004. Intensidades admisibles en amperios. Temperatura ambiente 40°C en el aire. Fuente: [UNE 20460-5-523:2004]

Aislamiento	Temperatura Ambiente (°C)										
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Tipo PVC (termoplástico)	1,4	1,34	1,29	1,22	1,15	1,08	1,00	0,91	0,82	0,70	0,57
Tipo XLPE o EPR (termoestable)	1,26	1,23	1,19	1,14	1,10	1,05	1,00	0,96	0,9	0,83	0,78

Tabla 4. 4. Tabla de factor de corrección de la temperatura ambiente 52 D1 de la norma UNE 20460-5-523:2004. Fuente: [UNE 20460-5-523:2004]

Probamos si con la sección mínima de $1,5 \text{ mm}^2$ podría soportar la intensidad límite explicada anteriormente de $10,11 \text{ [A]}$:

$$I_{M\acute{a}x,adm}(1,5\text{mm}^2, s/UNE20460 - 5 - 523, F, PVC3) = 20AxF_t$$

Ecuación 4.22. Intensidad máxima admisible para un conductor PVC3, configuración F, sección $1,5\text{mm}^2$ (s/UNE20460-5-523)

Siendo F_t el factor de corrección de temperatura. Al estar dimensionando en un clima cálido corregiremos la temperatura ambiente que rodea al conductor de 40°C a 50°C , teniendo en cuenta que el aislamiento es de PVC, que aguanta 70°C .

Por lo tanto, sustituyendo en la Ecuación 4.22:

$$I_{M\acute{a}x,adm}\left(1,5\text{mm}^2, \frac{s}{UNE20460} - 5 - 523, F, PVC3\right) = 20A \times 0,82 = \mathbf{16,4 [A]}$$

La **sección de $1,5 \text{ mm}^2$** sería correcta siguiendo el método de intensidad admisible, puesto que la tensión obtenida es mayor que el valor límite de $10,11 \text{ [A]}$.

➤ Cálculo de la sección por caída de tensión en las ramas:

$$S_{m,rama} = \frac{2L_{rama}I_{Mod,m,STC}}{\Delta V_{rama}N_{ms}V_{Mod,M,STC}\sigma}$$

Ecuación 4.23. Sección del conductor por caída de tensión para el tramo de CC

Siendo:

- L_{rama} [m] = longitud de la rama (7 metros)
- $I_{Mod,m,STC}$ [A] = intensidad máxima de los módulos en condiciones STC (8,09A)
- ΔV_{rama} [V] = caída de tensión (la definimos en el 3%)
- N_{ms} = número de módulos conectados en serie (6 módulos)
- $V_{Mod,M,STC}$ = tensión máxima de funcionamiento de los módulos en condiciones STC (17,9 V)
- σ [$m/\Omega mm^2$] = conductividad del cobre (se toma a 70°C por seguridad, 48,47 $m/\Omega mm^2$)

Sustituyendo en la Ecuación 4.23:

$$S_{m,rama} = \frac{2 \times 7 \times 8,09}{0,03 \times 6 \times 17,9 \times 48,47} = 0,7252 \text{ mm}^2$$

Este valor normalizado sería de **1,5 mm² de sección** con el método de caída de tensión.

➤ Solución final para el dimensionado de conductores en corriente continua:

Se instalan en cada una de las 2 ramas de 7 metros de longitud dos cables (positivo y negativo), de 1,5 mm² de sección, sección obtenida mediante los dos métodos utilizados. El elemento conductor es el cobre y el aislamiento es de PVC.

Red de alterna: cálculo de sección de la conexión entre el inversor y la motobomba.

En este tramo que va desde el inversor a la moto-bomba, parte del cable baja a la bomba sumergible, por lo que parte del cable irá enterrado y otra parte sumergido. Vamos a calcular la sección de este tramo basándonos en esta restricción.

Para el tramo soterrado, la ITC-BT-20 establece que el cable ha de tener una sección mínima de 6 mm², especificando en el punto 2.3.3 que “Las condiciones para estas canalizaciones en las que los conductores aislados deberán ir bajo tubo, salvo que

tengan cubierta y una tensión asignada 0,6/1 KV, se establecerán de acuerdo con lo señalado en las instrucciones ITC-BT-07 e ITCBT-21”. A su vez, la ITC-BT-07 establece en el punto 1 que la sección de estos conductores no podrá ser inferior a los 6 mm² ya indicados.

En la norma anteriormente utilizada UNE-20460-5-523 no existe el modo de instalación de cables para bombas sumergibles. Se aplica por lo tanto la norma UNE 21166, más específica en casos como este.

Se procede como en el caso anterior al cálculo de la sección por el método de intensidad admisible, así como por el método de caída de tensión basándonos en la norma UNE 21166.

➤ Cálculo de la sección por intensidad admisible:

El conductor ha de soportar la intensidad de cortocircuito de las 2 ramas del generador incrementadas un 125% según la norma s/IEC 60364-7-712 a la temperatura de régimen permanente.

$$I_{FV} = 1,25 \times N_{mp} \times I_{SC,M,STC}$$

Ecuación 4.24. Intensidad que ha de soportar el conductor a la temperatura de trabajo en el tramo de CA

Siendo:

- N_{mp} = número de módulos conectados en paralelo (2)
- $I_{SC,M,STC}$ = intensidad máxima de los módulos funcionando en condiciones STC (8,09 A)

Sustituyendo en la Ecuación 4.24:

$$I_{FV} = 1,25 \times 2 \times 8,09 = 20,22 [A]$$

Sección nominal mm ²	Espesor de almacenamiento mm	Diámetro exterior mm	Peso total kg/km	Resistencia del conductor a 20°C (Ω/km)	Intensidad admisible sumergido (1) A	Intensidad admisible enterrado (2) A	Caída de tensión km	
							cosφ=1	cosφ=0,8
1 x 95	1,8	26,00	1220	0,206	283	202	0,42	0,43
1 x 120	1,8	28,5	1480	0,161	322	230	0,34	0,36
1 x 150	2,0	31,5	1820	0,129	364	260	0,27	0,31
1 x 185	2,2	34,5	2260	0,106	407	291	0,12	0,26
1 x 240	2,4	38,0	2840	0,0801	470	336	0,17	0,22
1 x 300	2,6	41,5	3580	0,0641	532	380	0,14	0,19
2 x 1,5	1,0	12,9	170	13,3	34,3	No permitido	30,98	24,92
2 x 2,5	1,0	14,3	220	7,98	45,5	No permitido	18,66	15,07
2 x 4	1,0	15,4	280	4,95	58,8	No permitido	11,68	9,46
2 x 6	1,0	19,5	390	3,3	74	53	7,90	6,42
2 x 10	1,2	24,0	630	1,91	98	70	4,67	3,84
2 x 16	1,2	27,5	780	1,21	127	91	2,94	2,45
2 x 25	1,4	31,5	1170	0,78	162	116	1,6	1,59
3 x 1,5	1,0	13,7	200	13,3	29,4	No permitido	26,94	21,27
3 x 2,5	1,0	15,3	260	7,98	38,5	No permitido	16,23	13,1
3 x 4	1,0	16,6	345	4,95	49	No permitido	10,16	8,23
3 x 6	1,0	21,0	490	3,3	62	44	6,87	5,59
3 x 10	1,2	25,5	760	1,91	81	58	4,06	3,34

Tabla 4. 5. Intensidad máxima admisible, cable DN-F, sumergido o enterrado. Fuente: [UNE 21166]

$$I_{Max,adm}(6mm^2, s/UNE21 - 166, cable DN - F) = 44 [A]$$

Ecuación 4.25. Intensidad máxima admisible para un cable DN-F de 6 mm² de sección
(s/UNE21-166)

Como esta intensidad es mayor que la calculada como valor límite a partir de la Ecuación 4.24, la sección de 6 mm^2 es válida mediante el método de intensidad admisible.

Nota: se han tomado **6 mm^2** de sección para este tramo (aunque la parte de cable sumergida pudiese ir a una sección menor) ya que parte del cable irá sumergido y otra parte enterrada, y como la parte de tramo enterrada no puede por ley ser menor de 6 mm^2 , tomamos esta restricción para todo el tramo.

➤ Cálculo de la sección por caída de tensión:

$$S_{\text{linea}} = \frac{2L_{\text{linea}}N_{\text{mp}}I_{\text{Mod},M,STC}}{\Delta V_{\text{linea}}N_{\text{ms}}V_{\text{Mod},M,STC}\sigma}$$

Ecuación 4.26. Sección del conductor por el método de caída de tensión para el tramo de CA

Siendo:

- L_{linea} [m] = distancia de cable desde el inversor hasta la moto-bomba (46 m)
- N_{mp} = número de módulos conectados en paralelo (2 módulos)
- $I_{\text{Mod},M,STC}$ [A] = intensidad máxima de los módulos en condiciones STC (8,09 A).
- ΔV_{linea} [V] = caída de tensión (3%)
- N_{ms} = número de módulos conectados en serie (6 módulos)
- $V_{\text{Mod},M,STC}$ [V] = voltaje máximo de los módulos en condiciones STC (17,9)
- σ [$\text{m}/\Omega\text{mm}^2$] = conductividad del cobre a 70°C (48,47 $\text{m}/\Omega\text{mm}^2$)

Sustituyendo en la Ecuación 4.26:

$$S_{\text{linea}} = \frac{2 \times 46 \times 2 \times 8,09}{0,03 \times 6 \times 17,9 \times 48,47} = 9,5316 \text{ mm}^2$$

La sección mínima obtenida mediante el método de caída de tensión es de 10 mm^2 .

➤ Solución final para el dimensionado de conductores en el tramo de corriente alterna:

La sección obtenida mediante el método de intensidad admisible es de 6 mm², ahora bien, mediante el método de caída de tensión obtenemos una sección de 10 mm², más restrictiva, por lo que tomamos **10 mm²** como solución final.

Selección de los conductores:

En la siguiente tabla se realiza un resumen del dimensionado obtenido mediante los cálculos previos:

Tramo	Sección [mm ²]	Tipo de cable	Material del cable	Metros [m]
Corriente continua	1,5	Unipolar con contacto al aire libre	Cobre con aislamiento de PVC	14 (2 ramas de 7 metros)
Corriente alterna	10	DN-F	Cobre con aislamiento de EPR	46

Tabla 4. 6. Resumen del dimensionado de los cables conductores. Fuente: [Elaboración propia]

Para el tramo de corriente continua elegimos unos cables de la marca RTC, en concreto el modelo H07V-K, de fácil instalación gracias a su aislamiento de gran flexibilidad y supe deslizante, que cumple con las normas UNE-EN 50525-2-31, EN 50525-2-31 e IEC 60227-3 y además, cuenta con el certificado AENOR. Se necesitarían 14 metros de este cable.

Sección (mm ²)	Resistencia a 20 °C (Ohm/km)	Diámetro Exterior (mm)	Peso (kg/km)
1x1,5	13,3	3,00	20

Figura 4. 18. Dimensiones cables H07V-K. Fuente: [38]



Figura 4. 19. Imagen del cable H07V-K. Fuente: [38]

Para el tramo de corriente alterna se selecciona un cable DN-F Bombas Sumergidas de la marca Prysmian, de cobre, que cumple con la norma UNE 21166. Se necesitarán 46 metros de este cable:

Sección nominal mm ²	Espesor de aislamiento mm	Diámetro exterior mm	Peso total kg/km	Resistencia del conductor a 20 °C Ω/km
1 x 95	1,8	26,0	1220	0,206
1 x 120	1,8	28,5	1480	0,161
1 x 150	2,0	31,5	1820	0,129
1 x 185	2,2	34,5	2260	0,106
1 x 240	2,4	38,0	2840	0,0801
1 x 300	2,6	41,5	3580	0,0641
1 x 400	2,8	46,5	4420	0,0486
1 x 500	3,0	51,5	6060	0,0384
2 x 1,5	1,0	12,9	170	13,3
2 x 2,5	1,0	14,3	220	7,98
2 x 4	1,0	15,4	280	4,95
2 x 6	1,0	19,5	390	3,3
2 x 10	1,2	24,0	630	1,91
2 x 16	1,2	27,5	780	1,21
2 x 25	1,4	31,5	1170	0,78
3 x 1,5	1,0	13,7	200	13,3
3 x 2,5	1,0	15,3	260	7,98
3 x 4	1,0	16,6	345	4,95
3 x 6	1,0	21,0	490	3,3
3 x 10	1,2	25,5	760	1,91

Figura 4. 20. Características técnicas cable DN-F Bombas Sumergidas. Fuente: [39]

El depósito de acumulación seleccionado tiene la capacidad suficiente como para asegurar el abastecimiento de los abrevaderos y puntos de suministro de aguas, independientemente de la hora del día o la posible ausencia de radiación solar en periodos de mal tiempo, o si hubiese que realizar paradas de mantenimiento.

4.6.7. Elementos de protección

Tomando como referente el ‘Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red’, cuya finalidad es establecer las condiciones técnicas a tener en consideración en las instalaciones de energía solar fotovoltaica, los elementos de protección con los que contará nuestro modelo serán un diferencial, un magnetotérmico y una toma de tierra. En una edición de este pliego realizada por el Departamento de

Energía Solar del IDEA, el Laboratorio de Energía Solar Fotovoltaica del Departamento de Energías Renovable del CIEMAT y el Instituto de Energía Solar de la UPM, se indica que: [40]

- Toda instalación con tensión nominal superior a 48 voltios contará con una toma de tierra a la que estará conectado como mínimo la estructura soporte del generador y los marcos metálicos de los módulos.
- El sistema de protecciones asegurará la protección de personas frente a contactos indirectos y directos. Si existiese una instalación previa no se alterarán sus condiciones de seguridad.
- La instalación se protegerá frente a sobrecargas, sobretensiones y cortocircuitos.

En instalaciones que trabajen en corriente continua con bajas tensiones, habrá que tener en cuenta la ITC-BT-24 para los sistemas de protección. El sistema de protección será el siguiente según el reglamento electrotécnico para baja tensión:

Interruptor diferencial

Elemento de protección sensible a las corrientes diferenciales residuales, llamadas de este modo por ser la diferencia entre todas las corrientes salientes y entrantes de la instalación receptora. Su función es proteger el sistema de contactos indirectos y riesgo de incendio.

Este elemento consta básicamente de un anillo toroidal, dentro del cual se encuentran los cables de la instalación. [41]

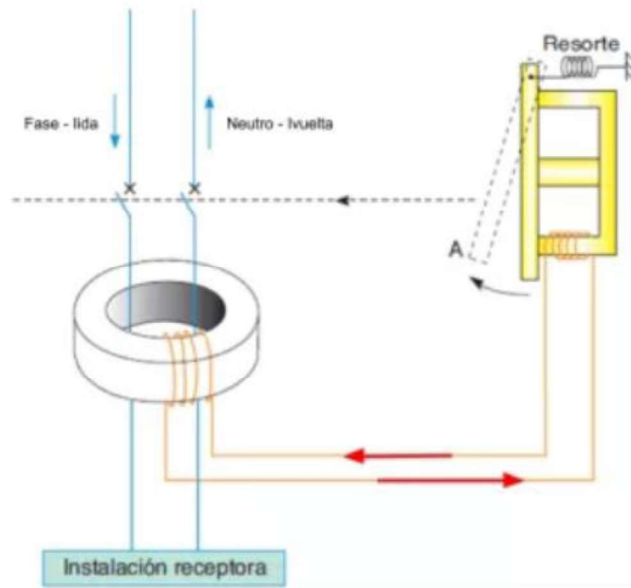


Figura 4. 21. Mecanismo de funcionamiento de un diferencial eléctrico. Fuente: [41]

Mientras la instalación no presente fugas de corriente, la intensidad de salida por la fase será igual a la que vuelve por el neutro, pero de signo contrario (siendo la suma de ambas nula).

Cuando se produzca una fuga a tierra, se producirá una diferencia de corriente en el anillo toroidal, de forma que la bobina actuará como un electroimán provocando la apertura del circuito.

Características de los diferenciales: [41]

- Intensidad nominal o calibre que puede soportar un diferencial. Depende de las dimensiones de los contactos principales, siendo el más común para viviendas el de 40ª
- Corriente diferencial nominal, sensibilidad o intensidad de disparo es el valor de la corriente diferencial menor para la que es garantizada la apertura del circuito correspondiente.
- Corriente diferencial de no funcionamiento. El fabricante debe garantizar el no disparo del diferencial para valores de fuga inferiores a esta corriente. Su valor suele ser la mitad de la corriente nominal de disparo.

Para la selección de nuestro diferencial tendremos en cuenta que la intensidad nominal sea mayor que la que circula por la línea. Así mismo, para la sensibilidad, tomaremos como referencia el dato de instalaciones en vivienda, donde se suelen utilizar diferenciales de 30 mA. [41]

Para pequeños interruptores diferenciales se cuenta con:

- Tensión nominal: 230 V, 400 V.
- Sensibilidad: 10 mA, 30 mA, 300 mA.
- Intensidad nominal: 25 A, 40 A, 63 A, 80 A.

Teniendo en cuenta estos datos y los datos de nuestra instalación, seleccionamos un diferencial de 25 A y 30 mA. Se selecciona un interruptor diferencial bipolar marca Hager, cuyas características son las siguientes:

Nº de módulos	2
Tensión de alimentación	230V
Potencia	5750 watios
Tipo de curva	Tipo C
Número de polos	2 polos
Sensibilidad	30 mA
Intensidad	25 amperios
Clase	Clase AC
Medida Alto	9 cm
Medida Ancho	3,5 cm
Medida Fondo	7,85 cm
Recomendado para	Recomendado para uso doméstico

Figura 4. 22. Ficha técnica diferencial bipolar Hager 25A. Fuente: [42]

Magnetotérmico

Elemento de protección ante sobrecargas y cortocircuitos. También denominado disyuntor, o PIA (pequeño interruptor automático) en instalaciones de vivienda. El funcionamiento de este dispositivo se basa en los efectos de la circulación de corriente eléctrica: térmico y magnético. [43]

- Circuito térmico: lámina bimetálica cuya función es la protección ante sobrecargas. Esta lámina es deformada con el paso de cierta corriente durante un

tiempo determinado. Cuando se alcanza una temperatura concreta, se corta el paso de la corriente (efecto Joule por el paso de corriente).

- Circuito magnético: electroimán cuya función es la protección ante cortocircuitos. Cortaría el paso de la corriente cuando se alcance cierto valor definido por el fabricante.

La corriente máxima admisible por la bomba Grundfos SP 9-10 seleccionada es de 15 [A]. A su vez, la intensidad máxima o intensidad de cortocircuito que se puede obtener del generador fotovoltaico es de 14,02 [A] (7,01 [A] x 2 ramas en paralelo). Observando estos datos, no sería necesaria la presencia de un magnetotérmico, el generador fotovoltaico no llegaría a alcanzar la corriente máxima admisible por el sistema. Sin embargo, por seguridad, el magnetotérmico que seleccionemos ha de ser capaz de actuar frente a intensidades un 125% mayores que la corriente de cortocircuito, es decir:

$$I_{\text{magnetotérmico}} = 1,25 N_{mp} I_{\text{cortocircuito generador FV}}$$

Ecuación 4.27. Intensidad del magnetotérmico

Además, el magnetotérmico debe ser capaz de soportar la tensión máxima del generador fotovoltaico, es decir, la tensión en circuito abierto, que en nuestro caso es de 133,2 [V] (22,2 [V] x 6 módulos en serie).

Sustituyendo en la ecuación 4.27:

$$I_{\text{magnetotérmico}} = 1,25 \times 14,02 = 17,5 \text{ [A]}$$

Por lo tanto, el magnetotérmico seleccionado tiene que soportar una intensidad de 17,05 [A] y un voltaje de 133,2 [V].

Se selecciona el magnetotérmico MUN 120A de la marca Hager.



Figura 4. 23. Magnetotérmico MUN 116A de la marca Hager (similar al escogido). Fuente: [42]

Sistema de puesta a tierra

Un sistema de puesta a tierra es la unión eléctrica directa de una parte del circuito eléctrico, o de una parte conductora no perteneciente a este mismo, con un electrodo o grupo de electrodos en el suelo mediante una toma de tierra. Se encarga de canalizar, disipar y absorber las corrientes de defecto u origen atmosférico conducidas a través de las líneas principales de tierras. [44]

Se puede considerar el uso de electrodos de la puesta en tierra mediante picas verticales, placas enterradas o conductores enterrados horizontalmente.

El posible hielo formado a bajas temperaturas, la humedad del suelo, entre otros factores, no deben alterar la resistencia de toma de tierra prevista, por lo que el tipo de enterramiento y la profundidad a la que se encontrará esta deben ser los correctos. [44]

A este sistema de puesta a tierra irán conectadas las estructuras de soporte de los paneles fotovoltaicos, así como sus marcos metálicos, por lo que la sección del conductor será igual que la seleccionada para la parte de corriente continua de nuestro proyecto (parte que va desde los paneles hasta el inversor).

La longitud del anillo de cobre deberá abarcar la superficie ocupada por los paneles fotovoltaicos formando un rectángulo. En nuestro caso, los paneles se encuentran conectados con una configuración 6Sx2P, con las siguientes medidas:

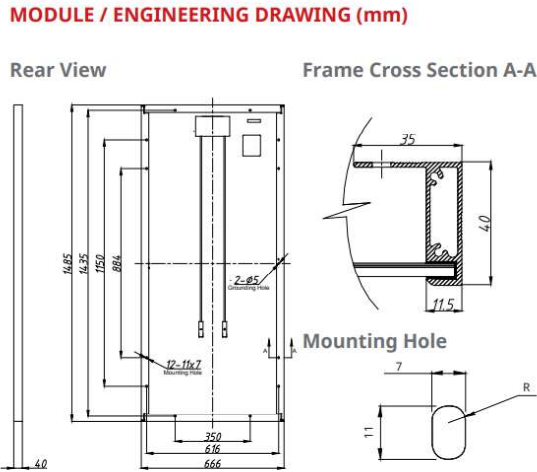


Figura 4. 24. Esquema acotado de paneles solares Canadian Solar CS6C-145P. Fuente: [35]

El anillo de cobre debe tener unas medidas de 3 metros de largo por 4 metros de ancho, necesitando un total de 12 metros de conductor.

Se utilizará una pica de marca Erico cobreada con punta, cuyo núcleo se compone de acero recto y duro, lo que facilita su instalación. La longitud seleccionada de la pica de 1,5 metros.

N.º de pieza	611350
Material	Acero ligado con cobre
Resistencia a la tracción	552 MPa Min.
Diámetro del electrodo, nominal	1/2"
Diámetro del electrodo, medido (Ø)	12,7 mm
Longitud (L)	1,5 m
Espesor del recubrimiento	254 µm
Peso unitario	1,57 kg
Etiqueta UPC	No
Embalaje Estándar	5 pc
UPC	78285664931
EAN-13	0782856649311

Figura 4. 25. Hoja de especificaciones pica Erico cobreada, con punta de 1,5 metros de longitud. Fuente:

[17]

Se instalará de este modo 1 pica de tierra de 1,5 metros de longitud y 12,7 mm de diámetro que se utilizará para poner a tierra la estructura de los paneles y sus partes metálicas. Adicionalmente se instalará otra pica de las mismas características para poner a tierra la parte de la instalación que funciona con corriente alterna.

Se separarán una distancia de 15 metros (distancia mínima para que la caída de un rayo no perjudique el sistema). A su vez, serán instaladas en la zona más húmeda posible del terreno, para que la resistencia en caso de una derivación sea pequeña.

5. PRESUPUESTO

En este apartado se estimará el presupuesto del gasto de los distintos elementos de todo el proyecto. Durante el dimensionado se han ido seleccionando los diferentes componentes de la instalación de bombeo solar teniendo en cuenta tanto sus características como su presupuesto.

No tendremos en cuenta los gastos de personal necesario para la instalación en este proyecto, puesto que, al plantearse como un proyecto de cooperación, se asume que la instalación será llevada a cabo por personas de la localidad concreta.

A continuación, se exponen en la tabla los elementos necesarios, ya elegidos en el apartado de dimensionado. Se excluirán de esta tabla pequeños gastos como tornillos, herramientas, así como los elementos de soporte de las placas fotovoltaicas, entre otros, centrándonos solo en los componentes dimensionados.

Componente	Cantidad	Precio	Total
Módulos fotovoltaicos CS6K-145P	12 unidades	135,52 €	1626,24 €
Bomba SP 9-10	1 unidad	1590,00 €	1590,00 €
Inversor INVT BPD 2200W	1 unidad	695,00 €	695,00 €
Tuberías PVC TUYPER GRUPO	51 metros	11,50€x5m	115,00 €
Depósito acumulación Tankeros 400 m³	1 unidad	300,00 €	300,00 €
Conductores CC RTC h07v-k	7 metros	23,60€x100m	23,60 €
Conductores CA DN-F Bomba Sumergida Prysmian	46 metros	4,5€x1m	207 €
Magnetotérmico MUN 120A Hager	1 unidad	73,03 €	73,03 €
Interruptor diferencial Hager 25A	1 unidad	15,95 €	15,95 €
Pica de puesta a tierra Erico 1,5 metros	2 unidades	6,41 €	12,82 €
Codo PVC 90° presión 63mm	3 unidades	2,94 €	8,82 €
Válvula antirretorno	1 unidad	20,84 €	20,84 €
Coste total			4691,00 €

Tabla 5. 1. Precios elementos sistema de bombeo fotovoltaico. Fuente: [Elaboración propia]

El coste total obtenido en la tabla representa el desembolso inicial necesario para la adquisición de todos los elementos, sin tener en cuenta reposiciones que pudieran ser necesaria a lo largo de los años de uso.

6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Procederemos en este apartado a dar una visión global de los resultados obtenidos, así como a realizar un pequeño análisis de la influencia de un sistema como este en la localización seleccionada.

Es importante señalar que se ha buscado la simplicidad en el diseño de la instalación, dentro de los requisitos del sistema, para facilitar su montaje y su posterior mantenimiento.

Con las suposiciones de necesidades hídricas y de altura de bombeo realizadas, así como utilizando los datos de irradiación solar de la zona, se ha llegado a la conclusión de que serán necesarios instalar 12 paneles fotovoltaicos en un ángulo de inclinación de 16° de 145 V cada uno, en una configuración 6Sx2P. Estos paneles irán conectados a una bomba de 2200 W de potencia. Teniendo en cuenta de que nos encontramos en un terreno llano, con bastante espacio, no encontraríamos problemas para ubicar los paneles fotovoltaicos, así como para ubicar el depósito de almacenamiento, que resulta ser de grandes dimensiones.

Con el análisis de presupuesto realizado en el punto anterior, se ha estimado que la inversión inicial realizada para la instalación es de 4691 €. Esta cantidad no representa una inversión grande si analizamos que la vida útil media de un sistema de bombeo solar fotovoltaico es de 20 años, ya que, so tener en cuenta gastos de mantenimiento, el gasto anual de la instalación durante estos 20 años sería de 234,6 €/año.

Para una localidad como Abala, contar con una instalación como la que se ha dimensionado representaría un gran avance directo en la vida de sus habitantes, tanto a nivel personal como para las necesidades agrícolas y ganaderas.

7. CONCLUSIONES

A lo largo de este proyecto se ha realizado un estudio y dimensionado de una instalación de bombeo fotovoltaica para una localización determinada con unas condiciones determinadas. Se han obtenido unos resultados de bombeo coherentes avalados por una herramienta informática.

Se ha diseñado un sistema de bombeo para aplicación fotovoltaica, que, mediante un correcto uso puede tener una vida útil de 20 años. Además, al realizarse un seguimiento de máxima potencia del generador fotovoltaico gracias al inversor, se aprovechará al máximo esta tecnología.

El estudio ha seguido las regulaciones que afectan al dimensionado, y se ha empleado la teoría utilizada en los últimos años para proyectos similares a nivel internacional. De este modo, en el dimensionado de este proyecto se emplea la teoría para conocer las capacidades de cada elemento, así como para poder seleccionar el modelo correcto con una buena relación técnico-económica.

En resumen, los principales elementos de la instalación de bombeo fotovoltaica dimensionada son:

- Una bomba sumergible de 2,2 [kW] de potencia.
- 12 módulos fotovoltaicos de 145 [W] de potencia conectados en una configuración 6S-2P.
- Un inversor de 2200 [W]
- Un interruptor diferencial de 25 [A]
- Un magnetotérmico de 20 [A]
- Un depósito de acumulación de 400 [m³]

Tras todas las observaciones mencionadas, acordes con la teoría, creemos que el diseño de la instalación es adecuado a las condiciones de uso, concluyendo que el análisis y el dimensionado se han desarrollado de manera correcta.

8. PERSPECTIVA

En este apartado consideraremos las perspectivas relacionadas con el proyecto y los posibles trabajos futuros.

La puesta en práctica del dimensionado realizado abre la puerta a realizar mejoras respecto al mismo, sirviendo de mayor utilidad en la localidad. En nuestro trabajo se ha supuesto que se utilizaría tanto para uso doméstico de las personas como para tierras de cultivo y ganadería. Un posible trabajo futuro sería el acondicionamiento de sistemas de tuberías que llegasen directamente a diferentes puntos de localización en el pueblo, habiendo más de un punto de obtención de agua. También podría ser viable la idea de acondicionar zonas de regadío para cultivos.

Como se ha realizado el estudio para una localidad concreta, que cuenta con más habitantes de los estimados para el dimensionado de la bomba, podría resultar interesante que, una vez probado el sistema durante un tiempo, y observando que su funcionamiento da los resultados esperados, se implantasen más sistemas a lo largo de la localidad, hasta llegar a proveer de agua a todos sus habitantes, así como para todos los usos ganaderos y agrícolas.

El empleo de una tecnología renovable como es la fotovoltaica para usos tan prácticos como es el bombeo de agua, permite a personas que viven en países en vías de desarrollo encontrar una solución viable y fácil de emplear para cubrir parte de sus necesidades básicas. Mediante pequeños proyectos como este se consigue que personas que no están acostumbradas a tratar con sistemas de estas características se adapten con facilidad, extendiendo las posibilidades de implantación de otros sistemas similares.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] United Nations Official Document. (2010). [En línea]. Obtenido de http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/292&Lang=S
- [2] Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento | PNUD. (2015). [En línea]. Obtenido de <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html>
- [3] OMS | Agua potable salubre y saneamiento básico en pro de la salud. (2015). [En línea]. Obtenido de http://www.who.int/water_sanitation_health/mdg1/es/
- [4] Informe Mundial de las Naciones Unidas. (2018). [En línea]. Obtenido de <http://unesdoc.unesco.org/images/0026/002614/261494s.pdf>
- [5] 2100 millones de personas carecen de agua potable en el hogar y más del doble no disponen de saneamiento seguro. (2017). [En línea]. Obtenido de <http://www.who.int/es/news-room/detail/12-07-2017-2-1-billion-people-lack-safe-drinking-water-at-home-more-than-twice-as-many-lack-safe-sanitation>
- [6] Asociación para el Desarrollo de las Energías Renovables en la Región de Murcia. (2018). [En línea]. Obtenido de <http://www.accion-solar.org/>
- [7] Evolución del uso de la energía - Descubre La Energia. (2018). [En línea]. Obtenido de <https://descubrelaenergia.fundaciondescubre.es/la-energia/la-energia-que-utilizamos/la-energia-y-la-actividad-economica/>
- [8] Tipos de energías renovables: Cuadros comparativos | Cuadro Comparativo. (2018). [En línea]. Obtenido de <https://cuadrocomparativo.org/tipos-de-energias-renovables-cuadros-comparativos/>
- [9] Energías Renovables | Construpedia, enciclopedia construcción. (2018). [En línea]. Obtenido de https://www.construmatica.com/construpedia/Energ%C3%ADas_Renovables
- [10] Energía No Renovable: Definición y clasificación | Cemaer. (2018). [En línea]. Obtenido de <https://www.cemaer.org/energia-no-renovable/>

- [11] Combustible nuclear. (2018). [En línea]. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Combustible_nuclear
- [12] La energía solar, renovable y rentable. (2018). [En línea]. Obtenido de <https://news.un.org/es/story/2018/04/1430451>
- [13] Paneles solares fotovoltaicos primera parte: Cómo funcionan y qué es el punto de máxima potencia. (2016). [En línea]. Obtenido de <http://www.fotonia.es/2016/06/paneles-solares-fotovoltaicos-primer.html>
- [14] Fuentes de Energía Renovables. (2017). [En línea]. Obtenido de <https://www.fuentesdeenergiarenovables.com/energia-solar/paneles-solares-fotovoltaicos/>
- [15] “Bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica”. Technical Information Service of Practical Action - Practical Answers. (2018). [En línea]. Obtenido de <https://answers.practicalaction.org/>
- [16] José Miguel Calatayud, E. (2018). Un océano bajo las arenas de África. [En línea]. Obtenido de https://elpais.com/sociedad/2012/07/29/actualidad/1343581582_694591.html
- [17] Copper-Bonded Ground Rod, Pointed - 611350 - ERICO. (2018). [En línea]. Obtenido de <https://www.erico.com/part.asp?part=611350>
- [18] "Ethiopia Improved water source Stats", NationMaster. (2014). [En línea]. Obtenido de <http://www.nationmaster.com/country-info/profiles/Ethiopia/Health/Improved-water-source>
- [19] PV potential estimation utility. (2018). [En línea]. Obtenido de <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?map=africa>
- [20] Google Maps. (2018). [En línea]. Obtenido de <https://www.google.com/maps>
- [21] Clima 13.33°N 39.77°E. (2018). [En línea]. Obtenido de <https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/modelclimate/13.332N39.774E>



- [22] Jiménez, S. (2018). Pérdidas de carga localizadas o en accesorios. [En línea]. Obtenido de <https://www.hidraulicafacil.com/2017/07/perdida-de-carga-localizada-o-en.html>
- [23] Temario de la asignatura “Instalaciones y máquinas hidráulicas” impartida en la Universidad Carlos III de Madrid
- [24] Temario de la asignatura “Energías renovables” impartida en la Universidad Carlos III de Madrid
- [25] Klapp, J., & Medina, A. (2014). Experimental and computational fluid mechanics. Cham: Springer.
- [26] Unidad 1. Componentes de una instalación fotovoltaica. (2018). [En línea]. Obtenido de <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>
- [27] Proyecto de suministro de agua potable mediante la construcción de un pozo manual como elemento esencial del desarrollo local en el Municipio de Walmara (Woreda) – Etiopía. (2010). [En línea]. Obtenido de <https://www.premionatura.es/proyectos/ganadores/2010-ABAY.pdf>
- [28] Organización territorial de Etiopía. (2018). [En línea]. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Organizaci%C3%B3n_territorial_de_Etiop%C3%ADa
- [29] Afar Region. (2018). [En línea]. Obtenido de https://en.wikipedia.org/wiki/Afar_Region
- [30] Alfonso Carlos Domínguez-Palacios Gómez. (2011). *Proyecto de Sistema de Bombeo Fotovoltáico a depósito, para consumo humano y abrevadero, en Gurmudele, Etiopía* (trabajo de fin de máster). Universidad de Internacional de Andalucía
- [31] Abala, Ethiopia. (2018). [En línea]. Obtenido de https://en.wikipedia.org/wiki/Abala,_Ethiopia
- [32] Alonso Abella, M. (2004). Cavidades tipo V para sistemas fotovoltaicos de baja concentración. [Vigo: ETS Ingenieros Industriales, Universidad de Vigo].

- [33] Grundfos Product Center | Grundfos product center. (2018). [En línea]. Obtenido de <https://product-selection.grundfos.com/front-page.html?qcid=375487814>
- [34] Inversor para Bombeo Solar INVT BPD 2200W | TeknoSolar. (2018). [En línea]. Obtenido de <https://www.teknosolar.com/inversor-para-bombeo-solar-invt-bpd-2200w>
- [35] CS6C-P Off Grid Module. (2018). [En línea]. Obtenido de <https://deltavolt.pe/documentos/CS6C-P-Off-Grid-Module.pdf>
- [36] Catálogo Presión PVC TUYPER GRUPO. (2018). [En línea]. Obtenido de http://www.tuyper.es/opencms/export/sites/tuyper/galeria_descarga/productos/01_tuberiaPVC/03abastecimiento_riego/01Catalogo_PRESION_PVC.pdf
- [37] Aplicaciones de los Depósitos de Agua - 20 Años Experiencia | Tankeros. (2018). [En línea]. Obtenido de <https://www.tankeros.com/aplicaciones/>
- [38] Cables RCT - Fabricante de cables eléctricos de baja tensión - Cables RCT. (2018). [En línea]. Obtenido de <https://www.cablesrct.com/>
- [39] Prysmian Group | Cables, Energy System and Telecom Solutions. (2018). [En línea]. Obtenido de <https://es.prysmiangroup.com/>
- [40] Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red. (2009). [En línea]. Obtenido de http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5654_FV_Pliego_aisladas_de_red_09_d5e0a327.pdf
- [41] El Diferencial. - Formación para la Industria 4.0. (2018). [En línea]. Obtenido de <https://automatismoindustrial.com/a-instalaciones-de-enlace/3-1-elementos-de-proteccion/3-1-el-diferencial/>
- [42] Hager - Especialista en Sistemas para la Distribución y la Gestion de la Energía - Hager. (2018). [En línea]. Obtenido de <http://www.hager.es/>
- [43] Interruptor magnetotérmico. (2018). [En línea]. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Interruptor_magnetot%C3%A9rmico

[44] Temario de la asignatura “Tecnología eléctrica” impartida en la Universidad Carlos III de Madrid

[45] Potter. M. (2014). Mecánica de Fluidos. [S.I]: Cengage Learning Editores

ANEXO. HOJAS DE CARACTERÍSTICAS

		Empresa: Creado Por: Teléfono: Datos: 22/09/2018
Posición	Contar	Descripción
	1	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> <p>SP 9-10</p>  </div> <div style="flex: 2;"> <p>Código: 98779770</p> <p>Bomba de agotamiento sumergible, apta para el bombeo de agua limpia. Se puede instalar en vertical u horizontal. Todos los componentes de acero están fabricados en acero inoxidable (EN 1.4301; AISI 304) para garantizar la máxima resistencia a la corrosión. Esta bomba está homologada para el bombeo de agua caliente.</p> <p>La bomba está equipada con un motor MS4000 de 2.2 kW con protección contra arena, cierre mecánico, cojinetes de deslizamiento lubricados con agua y una membrana de compensación de volumen. El motor, sumergible y de tipo encamisado, ofrece una buena estabilidad mecánica y una elevada eficiencia. Apto para temperaturas de hasta 40 °C.</p> <p>El motor no está equipado con sensor de temperatura. Si es preciso monitorizar la temperatura, puede equiparse con un sensor Pt1000. El motor está diseñado para el arranque directo en línea (DOL).</p> <p>Líquido: Líquido bombeado: Agua Temperatura máxima del líquido: 40 °C Temp. líquido máx. a 0.15 m/seg: 40 °C Liquid temperature during operation: 20 °C Densidad: 998.2 kg/m³ Viscosidad cinemática: 1 mm²/s</p> <p>Técnico: Caudal real calculado: 5.72 m³/h Altura resultante de la bomba: 62.13 m Cierre mecánico del motor: HM/CER Homologaciones en placa: CE,EAC Tolerancia de curva: ISO9906:2012 3B Versión de motor: T40</p> <p>Materiales: Bomba: Acero inoxidable EN 1.4301 AISI 304 Impulsor: Acero inoxidable EN 1.4301 AISI 304 Motor: Acero inox. DIN W.-Nr. 1.4301 AISI 304</p> <p>Instalación: Descarga: RP2 Diámetro del motor: 4 inch</p> <p>Datos eléctricos: Tipo de motor: MS4000 CSCR</p> </div> </div>



Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 22/09/2018

Posición	Contar	Descripción
		<p>Potencia nominal - P2: 2.2 kW Potencia (P2) requerida por la bomba: 2.2 kW Frecuencia de alimentación: 50 Hz Tensión nominal: 1 x 220-230 V Corriente nominal: 14.6-15 A Intensidad de arranque: 540-600 % Cos phi - Factor de potencia: 0.96-0.98 Velocidad nominal: 2850-2870 rpm Tipo de arranque: directo Grado de protección (IEC 34-5): IP68 Clase de aislamiento (IEC 85): F Transmisor de temp. incorporado: no</p> <p>Otros: Índice eficiencia mínima, MEI ≥: 0.70 Estado ErP: Prod. independiente (directiva EuP) Peso neto: 31.6 kg Peso bruto: 33.7 kg Volumen: 0.021 m3 Country of origin: DK Custom tariff no.: 84137029</p>



CS6C-145 | 150P

CS6C is a robust off-grid solar module with 36 solar cells. Our meticulous design and production techniques ensure a high-yield, long-term performance for every module produced. Our rigorous quality control and in-house testing facilities guarantee Canadian Solar's modules meet the highest quality standards possible.

KEY FEATURES



Outstanding low irradiance performance > 95.5 %



Power tolerance $\pm 3\%$



IP67 junction box for long-term weather endurance



Heavy snow load up to 5400 Pa
wind load up to 2400 Pa

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001: 2008 / Quality management system
ISO/TS 16949:2009 / The automotive industry quality management system
ISO 14001:2004 / Standards for environmental management system
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / MCS
UL 1703: CSA / PV CYCLE (EU)



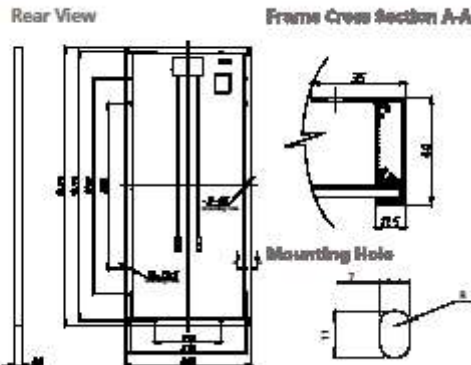
*As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading manufacturer of solar modules and PV project developer with about 9 GW of premium quality modules deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

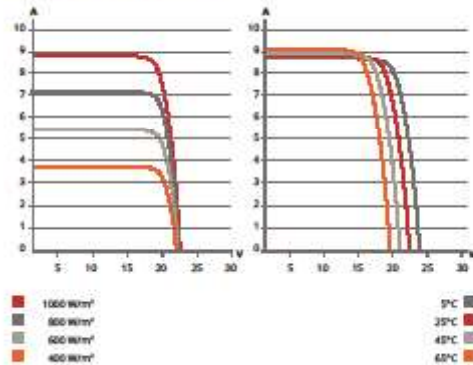
CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

MODULE / ENGINEERING DRAWING (mm)



CS6C-150P / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

Electrical Data CS6C	145P	150P
Nominal Max. Power (Pmax)	145 W	150 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	17.9 V	18.1 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.09 A	8.30 A
Open Circuit Voltage (Voc)	22.2 V	22.3 V
Short Circuit Current (Isc)	8.65 A	8.87 A
Module Efficiency	14.66%	15.17%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C	
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)	
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC61730)	
Max. Series Fuse Rating	15 A	
Application Classification	Class A	
Power Tolerance	± 3 %	

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA | NOCT*

Electrical Data CS6C	145P	150P
Nominal Max. Power (Pmax)	105 W	109 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	16.3 V	16.5 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.44 A	6.59 A
Open Circuit Voltage (Voc)	20.4 V	20.5 V
Short Circuit Current (Isc)	7.01 A	7.19 A

* Under Nominal Operating Cell Temperature (NOCT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Industry leading performance at low irradiation, +95.5 % module efficiency from an irradiance of 1000 W/m² to 200 W/m² (AM 1.5, 25°C).

This specification and any features described in this datasheet may change slightly and are not guaranteed. Due to on-going innovation, research and product enhancement, Canadian Solar Inc. reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.

Caution: For professional use only. The installation and handling of PV modules requires professional skills and should only be performed by qualified professionals. Please read the safety and installation instructions before using the modules.

MODULE | MECHANICAL DATA

Specification	Units
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	36 (4x9)
Dimensions	1485 x 666 x 40mm (58.4 x 26.2x1.57in)
Weight	12 kg (26.5 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-BOX	IP67, 2 diodes
Cable	4 mm² (IEC) or 4 mm² & 12 AWG 1000 V (UL), 950 mm (37.4 in)
Connectors	MC4 or MC4 comparable
Stand. Packaging	36 pcs
Module Pieces per Container	792 pcs (40')

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Units
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.43% / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.34% / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.065% / °C
Nominal Operating Cell Temperature	45±2°C

PARTNER SECTION



Cables 450/750 V

H07V-K



Descripción

Los cables H07V-K son los indicados para la realización de instalaciones fijas en viviendas, locales y oficinas, cuadros eléctricos de control y alumbrado doméstico e industrial. Son de fácil instalación gracias a su aislamiento superdeslizante y gran flexibilidad.

Normas de Referencia: UNE-EN 50525-2-31, EN 50525-2-31 e IEC 60227-3

Aplicaciones

Según el REBT 2002, para las siguientes instalaciones:

- ITC-BT 20 Instalaciones interiores o receptoras
- ITC-BT 26 Instalaciones interiores en viviendas
- ITC-BT 27 Instalaciones interiores en viviendas. Locales que contienen una bañera o ducha.
- ITC-BT 29 Instalaciones en locales con riesgo de incendio o explosión
- ITC-BT 30 Instalaciones en locales de características especiales
- ITC-BT 41 Instalaciones eléctricas en caravanas y en parques de caravanas

Dimensiones

Sección (mm²)	Resistencia a 20 °C (Ohm/km)	Diámetro Exterior (mm)	Peso (kg/km)	Clase
1x1,5	13,3	2,80	19	Eca
1x2,5	7,98	3,40	29	Eca
1x4	4,95	3,90	43	Eca
1x6	3,3	4,40	61	Eca
1x10	1,91	5,75	106	Eca
1x16	1,21	6,85	155	Eca
1x25	0,78	8,40	232	Eca
1x35	0,554	9,70	319	Eca
1x50	0,386	11,50	466	Eca
1x70	0,272	13,20	656	Eca
1x95	0,206	16,50	877	Eca
1x120	0,161	17,50	1.116	Eca
1x150	0,129	19,60	1.366	Eca
1x185	0,106	22,30	1.684	Eca
1x240	0,0801	25,00	2.164	Eca

Características Técnicas

1. Conductor	Cobre electrolítico flexible (Clase V) según UNE-EN 60228, EN 60228 e IEC 60228
2. Aislamiento	PVC tipo TI-1 según UNE-EN 50363-3 y EN 50363-3
Tensión nominal	450/750 V
Tensión de ensayo	2.500 V C.A.
Temperatura máxima	70 °C

Otras características

Colores según UNE-EN 50525-1 y EN 50525-1

No propagación de la llama según UNE-EN 60332-1-2, EN 60332-1-2 e IEC 60332-1-2

Clasificación CPR según EN 50575

Los datos contenidos en esta página, sin menoscabar su carácter informativo, no constituyen compromiso contractual de ningún tipo por parte de Cables RCT. Adicionalmente, Cables RCT, dentro de su proceso de mejora continua, se reserva el derecho de modificar las especificaciones técnicas sin previo aviso.



cablesrct.com

Sede ZARAGOZA
T. 976 500 120
info@rct.es

Delegación BARCELONA
T. 93 307 95 62
barcelona@rct.es

Delegación MADRID
T. 91 691 85 48
madrid@rct.es

Delegación SEVILLA
T. 954 354 946
sevilla@rct.es

Delegación VALENCIA
T. 96 375 90 70
valencia@rct.es



Construcción

Conductor	Cuerda de cobre pulido flexible. Clase V S/UNE-EN 60228
Aislamiento	Goma EPR(UNE 21150) Identificación: HD 308 S2 (Ver Tabla adjunta)
Cableado	Conductores aislados cableados en coronas concéntricas
Cubierta exterior	Compuesto elastómero, GOMA (Tipo SE1 según UNE 21150) Color standard: Negro

Características técnicas

Tensión de servicio	600/1000 V
Tensión de ensayo	3500 V
Tª de servicio	Servicio fijo (instalación protegida): -40°C a +90°C Servicio móvil: -25°C a +90°C Durante la instalación: -25°C Almacenamiento: 40°C Max. Cortocircuito (Max. 5 seg): 250°C
Radio curvatura Min.	Instalación fija: 3xD (Diámetro <= 12 mm) 4xD (Diámetro > 12 mm) Libre movimiento: 5xD (Diámetro <= 12 mm) 6xD (Diámetro >12 mm)

Aplicación

Cable flexible para servicio móvil pesado. Adecuado para instalaciones en locales secos, húmedos o mojados, a la intemperie, en talleres de atmósferas explosivas (para alimentación de equipos portátiles o móviles), en talleres industriales, motores, máquinas transportables, canteras y explotaciones agrícolas, enrolladores y aparatos elevadores. Adecuado para instalaciones sumergidas (AD8).

Normativa / Propiedades

Ref. construcción/diseño	UNE 21150 (*Cumple además con los requerimientos de la UNE 21166, siendo adecuado para instalaciones sumergidas AD8)
Clasificación CPR (Euroclase)	Eca (Según norma UNE-EN 50575)
No propagador de la llama	UNE-EN 60332-1 (IEC 60332-1)
Otras características	- Resistencia a grasas y aceites: Excelente - Resistencia a los ataques químicos: Excelente



Datos Constructivos

Código	NxS (mm ²)	Ø (mm)	Peso (kg/km)	R a 20°C (Ohm/Km)	I (A), 30°C	I (A) Ent, 20°C
09601700	1x6	8.2	110	3.3	53	46
09601800	1x10	10	175	1.91	74	61
09601900	1x16	11.2	240	1.21	101	79
09602000	1x25	13.2	350	0.78	135	101
09602100	1x35	14.7	465	0.554	169	122
09602200	1x50	17	635	0.386	207	144
09602300	1x70	18.9	850	0.272	268	178
09602400	1x95	21.4	1100	0.206	328	211
09602500	1x120	23.4	1375	0.161	383	240
09602600	1x150	25.8	1695	0.129	444	271
09602700	1x185	28.1	2045	0.106	510	304
09602800	1x240	31.3	2635	0.0801	607	351
09602900	1x300	34.5	3275	0.0641	703	396
09605500	2x1.5	8.3	100	13.3	26	
09605700	2x2.5	9.8	145	7.98	36	
	2x4	10.9	200	4.95	49	
	2x6	12.4	265	3.3	63	
	2x10	17.5	485	1.91	86	
	2x16	19.9	665	1.21	115	
	2x25	24.8	1010	0.78	149	
09608400	3G1.5	9.2	130	13.3	26	
09608600	3G2.5	10.8	185	7.98	36	
09608800	3G4	12.4	260	4.95	49	
09608900	3G6	14	345	3.3	63	
09609000	3G10	20	640	1.91	86	
09609100	3G16	21.8	855	1.21	115	
09609200	3G25	26.3	1270	0.78	149	
09609300	3G35	29.1	1655	0.554	185	
09609400	3G50	33.5	2255	0.386	225	
	3G70	37.3	2970	0.272	289	
	3G95	44	3935	0.206	352	
09613300	4G1.5	10.3	160	13.3	23	
09613500	4G2.5	7.98	11.9	230	32	
09613700	4G4	14.1	325	4.95	42	
09613800	4G6	15.6	435	3.3	54	
09613900	4G10	21.4	775	1.91	75	
09614000	4G16	24.3	1080	1.21	100	
09614100	4G25	29.8	1630	0.78	127	
	4G35	32.7	2115	0.554	158	
09614300	4G50	37.9	2895	0.386	192	
	4G70	41.8	3825	0.272	246	
09614500	4G95	47.4	4980	0.206	298	
	4G120	52.3	6165	0.161	346	
	4G150	57.5	7605	0.129	399	

Código	NxS (mm ²)	Ø (mm)	Peso (kg/km)	R a 20°C (Ohm/Km)	I (A), 30°C	I (A) Ent, 20°C
09616500	5G6	17.7	545	3.3	54	
09616600	5G10	23.7	945	1.91	75	
09616700	5G16	26.9	1320	1.21	100	
	5G25	32.9	1995	0.78	127	
09616900	5G35	35.8	2560	0.554	158	
	5G50	42.2	3575	0.396	192	
	12G1.5	17.2	450	13.3	23	
	12G2.5	20.3	945	7.98	32	

Leyenda

Código	Código Cervi
NxS (mm ²)	Número de conductores x Sección (mm ²)
Ø (mm)	Diámetro Exterior (mm)
Peso (kg/km)	Peso cable aproximado (kg/km)
R a 20°C (Ohm/Km)	Resistencia conductor a 20°C (Ohm/km)
I (A), 30°C	Intensidad máxima admisible (A), al aire (30°C)
I (A) Ent, 20°C	I Max. admisible (A), enterrado. T° terreno 20°C

Tabla de colores

NºCONDUCTORES	COLOR AISLAMIENTO
2x	Azul, Marrón
3x	Marrón, Negro, Gris
3G	Azul, Marrón, Amarillo/Verde
4x	Azul, Marrón, Negro, Gris
4G	Marrón, Negro, Gris, Amarillo/Verde
5G	Azul, Marrón, Negro, Gris, Amarillo/Verde
> 5 (G)	Negros numerados Amarillo/Verde

Características técnicas del producto

MUN120A

hager



Imagen similar (La imagen muestra MUN116A)

Interrupor automático magnetotérmico serie MU, 1P, 20A, curva C, 6KA

Interrupor automático magnetotérmico hager serie MU, 1P, 20A, curva C, poder de corte 6000A según UNE EN 60898-1. Certificado AENOR.

Arquitectura

Número de polos protegidos	1
Número de polos	1 P
Tipo de polos	1 P
Con corte del neutro	no
Curva	C

Principales características eléctricas

Poder de corte asignado	6 kA
Tensión asignada de empleo en alterna	230/400 V
Frecuencia asignada	50/60 Hz
Tipo de tensión de alimentación	AC

Tensión

Tensión asignada de aislamiento	500 V
Tensión soportada al impulso asignada	4000 V

Corriente eléctrica

Poder de corte asignado 230V 50 Hz	6 kA
Poder de corte de servicio según EN60898	6 kA
Poder corte 1 polo 400V (EN60947-2)	3 kA
Poder corte último en c.a. 230V (EN 60947-2)	10 kA
Valor min/máx de funcionamiento del relé térmico en c.a.	1,13/1,45 In
Valor umbral min/máx relé magnético en c.a.	5/10 In
Valor umbral min/máx funcionamiento del relé térmico en c.c.	7/15 In
Valor del nivel min/máx de funcionamiento del relé térmico en c.c.	1,13/1,45 In

Corriente/temperatura

Corriente asignada a -15°C	26 A
Corriente asignada a -20°C	26,7 A
Corriente asignada a 0°C	24,1 A
Corriente asignada a 10°C	22,7 A
Corriente asignada a -10°C	25,4 A
Corriente asignada a 15°C	22,1 A

Características técnicas

Corriente asignada a 20° C	21,4 A
Corriente asignada a 25° C	20,8 A
Corriente asignada a 30° C	20,4 A
Corriente asignada a 35° C	20 A
Corriente asignada a 40° C	19,4 A
Corriente asignada a 45° C	18,8 A
Corriente asignada a 50° C	18,1 A
Corriente asignada a 55° C	17,8 A
Corriente asignada a 60° C	17,5 A
Corriente asignada a 65° C	16,8 A
Corriente asignada a 70° C	14,6 A

Coeficiente de corrección de la corriente

Coeficiente de corrección de la corriente nominal para 1 2 aparatos juxtapuestos:	
Coeficiente de corrección de la corriente nominal para 0,95 3 aparatos juxtapuestos:	
Coeficiente de corrección de la corriente para 4 y 5 aparatos juxtapuestos:	0,9
Coeficiente de corrección de la corriente nominal para 0,85 6 aparatos juxtapuestos:	
Coeficiente de corrección diámetro magnético a 100Hz	1,1
Coeficiente de corrección diámetro magnético a 250Hz	1,2
Coeficiente de corrección diámetro magnético a 400Hz	1,5
Coeficiente de corrección diámetro magnético a 60Hz	1

Potencia

Potencia total disipada en condiciones de intensidad nominal	2,7 W
Potencia disipada por polo	2,7 W

Endurecimiento

Endurecimiento eléctrico en número de ciclos	4000
Endurecimiento mecánico en número de maniobras	20000

Dimensiones

Profundidad del producto instalado	70 mm
Altura del producto instalado	80 mm
Anchura del producto instalado	17,5 mm

Instalación, montaje

Par de apriete	2,8 Nm
----------------	--------

Conexión

Tipo de conexión	Borne de jaula con tornillo
Sec. conex. born. sup. a int. cable ríg.	1/25 mm²
Sección de conexión de bornes de montaje con tornillo	1/15 mm²

Características técnicas del producto

MUN120A

:hager

Equipo

Accesoriable	no
--------------	----

Normas

Norma	EN 60959-1
Directiva europea RoHS	conformidad voluntaria

Seguridad

Índice de protección IP	IP20
-------------------------	------

Condiciones de uso

Grado de polución / IEC60664/IEC60947-2	3
Clase de limitación de energía PE	3
Altitud	2000 m
Temperatura de almacenamiento	-25 a 60 °C
Tropieza/sol/si humedad/protección	Todos los climas

Solar Pumping Inverters



Description:

BPDXXXTN series solar water-pump Inverter adopts the dynamic VI MPPT technology and motor control technology, and is suitable for AC water pumps with prompt response, high efficiency and stable performance.

Features

- Support direct driving single-phase motor (don't tear down Start Capacitor), and three-phase 220V motor.
- One pump Inverter can work with multiple motors, support vector control.
- Protection class IP65 and fanless system design, with convenient installation, maintenance free.
- With a bypass function, support 220V Utility Power Input and diesel engine Input; optional water level detection module and diesel engine start/stop module.
- Low start voltage and wide input voltage range give more possibilities for accepting multi PV strings configuration and different type of PV module.
- Digital intelligent control, Flexible adjusting and setting pump's speed range. In addition to soft start function also can provide lightning protection, overvoltage, over current, overload protection function etc.

Model: BPDXXXTN



ACT witness Lab certified by TUV SUD



BVT Official Website

	SPD3007TN	SPD1000TN	SPD3002TN	SPD3007TNAG	SPD1000TNAG	SPD3002TNAG
Input (DC)						
Max DC Voltage (V)	800		480	800		480
Starting voltage (V)	80		120	80		100
Minimum working voltage (V)	80		80	80		80
MPPT Operating Voltage Range (V)	80-280		120-400	80-280		120-400
Number of MPPT/string	Single 8KVA					
Max. DC Current(A)	8	12	12	8	12	12
Bypass Input (AC)						
Input voltage (VAC)		NO		280/280/280(1PH)-18%~10%		
Input frequency (Hz)		NO		47-63		
Input connect method (AC)		NO		1P&L		
Output(AC)						
Rated power(W)	750	1600	2200	750	1500	2200
Rated current(A)	8.1 (1PH)	10. (1PH)	14 (1PH)	8.1 (1PH)	10.2 (1PH)	14 (1PH)
	4.2 (3PH)	7.6 (3PH)	10 (3PH)	4.2 (3PH)	7.6 (3PH)	10 (3PH)
Output voltage (Vdc)	0-Input voltage					
Output connect method	1P&L&P&L					
Output frequency (Hz)	1-600					
Performance						
Control mode	Motor control technology					
Type of motor	synchronous machine					
Other Parameter						
Dimension (Lx W x D mm)	250x300x130					
Weight (kg)	<10.8					
Protection	IP65					
Cooling	Natural Cooling					
HMI	LED screen extend (not support LCD screen)					
communication						
external communication	RS485/Single Digital Input/Analog Input (0-10V)					
Certification						
Certification	CE , IEC61800-6 CB					
Working environment						
Ambient temperature	(-25℃ ~50℃ More than 45℃ derating)					
Working altitude	8000m (more than 8000m derating)					
Design life	5 years (assembly 18 months)					
Power-related motor array configuration						
250Wp (Open-circuit voltage 38V±3V)	4*1	8*1	11*1	4*1	8*1	11*1
300Wp (Open-circuit voltage 45V±3V)	3*1	6*1	9*1	3*1	6*1	9*1

UL es una marca comercial registrada de la División Electrónicos Interactivos, UL, UL, UL, UL y UL son marcas de certificaciones registradas de UL LLC.

ADVERTENCIA:

Los productos nVent deben ser instalados y usados de acuerdo a lo indicado en las hojas de instrucciones y materiales de empaque de nVent. Las hojas de instrucciones están disponibles en www.nvent.com y con el representante de Servicio al Cliente de nVent. La instalación incompleta, mal uso, aplicación incorrecta o cualquier otro factor en el cumplimiento estricto de las instrucciones y advertencias de nVent puede ocasionar un mal funcionamiento del producto, daños en la propiedad, lesiones corporales mortales o incluso la muerte como la invalidación de la garantía.

© 2018 nVent. All rights reserved.

nVent, nVent GARDOL, nVent BRUGG, nVent ENFLEX and nVent LENTON are owned by nVent or its global affiliates.

All other listed marks are the property of their respective owners. nVent reserves the right to change specifications without prior notice.

